

TRABAJO FINAL DE GRADO

**Grado en Ingeniería de la Energía**

**EVALUACIÓN POST-OCUPACIONAL DE UNA VIVIENDA DE  
CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULA A PARTIR DE DATOS  
MONITORIZADOS Y SIMULACIONES DINÁMICAS**



**Memoria y Anexos**

**Autor:** Gemma Pasqual Auladell i Alba Segarra Fisa  
**Director:** Joana Aina Ortiz Ferrà  
**Convocatoria:** Enero 2019



## Resum

El present projecte es basa en una avaluació post-ocupacional d'un habitatge d'energia gairebé nul·la (NZEB - Nearly zero energy buildings), per tal de conèixer el seu comportament des d'un punt de vista energètic, ambiental i de confort tèrmic dels ocupants.

Primer per contextualitzar, es descriuen els edificis nZEB i es detalla l'estat regulador actual a nivell Europeu i aprofundint a nivell nacional.

S'utilitzaran una sèrie d'indicadors per a l'avaluació energètica, ambiental i de confort de l'habitatge estudiat. Els indicadors utilitzats es centraran en la proposta Europea de Level(s) que s'utilitzaran per establir el perfil de consum energètic de l'habitatge i la determinació de les condicions de confort tèrmic. A més del marc Level(s), també s'inclouen altres indicadors regulats per normes europees.

Per a la caracterització de l'habitatge es duran a terme simulacions dinàmiques amb el programari TRNSYS 17, on s'implementarà de forma detallada sistema de climatització de l'habitatge. Aquest sistema està compost per una bomba de calor reversible amb el terra radiant com a sistema de calefacció i fancoils per al sistema de refrigeració. D'altra banda, també s'implementa el sistema d'aigua calenta sanitària (ACS).

A més a més, es realitza un anàlisi de dades monitoritzades reals de l'habitatge. Els resultats obtinguts permetran comparar-los amb els resultats de la simulació mitjançant els indicadors establerts

Finalment, s'estudiarà el comportament de l'habitatge en escenaris futurs, concretament en l'any 2030 i l'any 2050 per avaluar l'impacte ambiental i el comportament de l'edifici en unes condicions meteorològiques de canvi climàtic.

Aquest treball comprèn tant els procediments utilitzats per a la simulació, com el tractament de les dades monitoritzades, així com la determinació dels indicadors utilitzats per extreure les conclusions.

## Resumen

El presente proyecto se basa en una evaluación post-ocupacional de una vivienda de energía casi nula (nZEB – Nearly zero energy buildings), con el a fin de conocer su comportamiento desde un punto de vista energético, ambiental y de confort térmico de los ocupantes

Primero para contextualizar, se describen los edificios nZEB y se detalla el estado regulatorio actual a nivel Europeo y profundizando a nivel nacional.

Se utilizarán una serie de indicadores para la evaluación energética, ambiental y de confort de la vivienda estudiada. Los indicadores utilizados se centrarán en la propuesta Europea de Level(s) que servirán para establecer el perfil de consumo energético de la vivienda y la determinación de las condiciones de confort térmico. Además del marco Level(s), también se incluyen otros indicadores regulados por normas europeas.

Para la caracterización de la vivienda se llevarán a cabo simulaciones dinámicas con el software TRNSYS 17, donde se implementará de forma detallada el sistema de climatización de la vivienda. Este sistema está compuesto por una bomba de calor reversible con el suelo radiante como sistema de calefacción y fancoils para el sistema de refrigeración. Por otra parte, también se implementa el sistema de agua caliente sanitaria (ACS).

Además, se realiza un análisis de datos monitorizadas reales de la vivienda. Los resultados obtenidos permitirán compararlos con los resultados de la simulación mediante los indicadores establecidos

Por último, se estudiará el comportamiento de la vivienda en escenarios futuros, concretamente en el año 2030 y el año 2050 para evaluar el impacto ambiental y el comportamiento del edificio en unas condiciones meteorológicas de cambio climático.

Este trabajo comprende tanto los procedimientos utilizados para la simulación, como el tratamiento de los datos monitorizados, así como la determinación de los indicadores utilizados para extraer las conclusiones.

## Abstract

The present project is based on a post-occupational evaluation of an almost zero energy house (nZEB - Nearly zero energy buildings), with the aim of knowing its behaviour from an energetic, environmental and thermal comfort point of view of the occupants

First to contextualise, the nZEB buildings are described and the current regulatory status is detailed at the European level and deepened at the national level.

A series of indicators will be used for the energy, environmental and comfort assessment of the housing studied. The indicators used will focus on the European Level (s) proposal that will serve to establish the energy consumption profile of the home and the determination of the conditions of thermal comfort. In addition to the Level (s) framework, other indicators regulated by European standards are also included.

For the characterization of the house, dynamic simulations will be carried out with the TRNSYS 17 software, where the housing air conditioning system will be implemented in detail. This system consists of a reversible heat pump with underfloor heating system and fancoils for the cooling system. On the other hand, the sanitary hot water system (ACS) is also implemented.

In addition, a real-time monitored data analysis of the home is carried out. The results obtained will allow them to compare them with the results of the simulation using the established indicators

Finally, the behaviour of the house will be studied in future scenarios, specifically in the year 2030 and the year 2050 to evaluate the environmental impact and behaviour of the building in weather conditions of climate change.

This work includes both the procedures used for the simulation, as well as the treatment of the monitored data, as well as the determination of the indicators used to extract the conclusions.

## Agradecimientos

Principalmente, nos gustaría agradecer profundamente a la directora de este proyecto Joana Aina Ortiz por brindarnos la oportunidad de realizar este proyecto en colaboración con IREC. Además de estar disponible en todo momento para solucionar las dudas surgidas a lo largo del proyecto y transmitirnos todos los conocimientos y explicaciones necesarias para realizarlo con éxito. Sobre todo, por su amabilidad y compromiso incuestionable.

Del mismo modo agradecemos al equipo del IREC por ayudarnos siempre que ha sido necesario, y al centro de investigación por proporcionarnos un espacio de estudio y todas las herramientas necesarias.

Damos las gracias a la empresa Rockwool por facilitarnos la información necesaria para así utilizarla como objeto de estudio.

También agradecemos a los ocupantes de la vivienda por responder la encuesta que les facilitamos.

Este trabajo no se podría haber llevado a cabo sin el apoyo y compañerismo en todo momento entre las autoras, dándonos así las gracias respectivamente.

## Glosario

- **nZEB:** *Nearly Zero Energy Building*. Edificio de energía casi nula.
- **UE:** Unión Europea.
- **EPBD:** *Energy Performance of Buildings Directive*. Directiva de eficiencia energética en edificios.
- **LCA:** *Life Cycle Assessment*. Análisis de Ciclo de Vida.
- **LCC:** *Life-cycle cost*. Análisis del Coste del Ciclo de Vida.
- **RITE:** Reglamento de Instalaciones Técnicas de la Edificación.
- **CTE:** El Código Técnico de la Edificación de España.
- **IPCC:** *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- **GEI:** Gases de Efecto Invernadero.
- **ACS:** Agua Caliente Sanitaria.
- **COP:** coeficiente de operatividad o coeficiente de rendimiento.
- **Transmitancia térmica (U):** Medida de calor que se transfiere por unidad de tiempo a través de una superficie constructiva, cuando existe un gradiente térmico de 1 °C. En elementos constructivos se utiliza para observar la capacidad de transferencia de calor, o capacidad aislante. Se mide en unidades de  $[W/m^2 \cdot K]$ .
- **Type:** Componente propio del software TRNSYS y el módulo Simulation Studio.
- **Setpoint:** Valor de referencia establecido para un sistema variable.
- **Input:** Valor de entrada.
- **Output:** Valor de salida.

# Índice

<b>RESUM</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>IV</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>V</b>
<b>1. PREFACIO</b>	<b>21</b>
1.1. Motivación .....	21
1.2. Requisitos previos.....	21
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>22</b>
2.1. Objetivos del trabajo .....	23
<b>3. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>24</b>
3.1. Edificios nZEB .....	24
3.1.1. Definición general .....	25
3.1.2. Definición nacional.....	27
3.1.3. Diferenciación entre los conceptos NZEB y nZEB.....	31
3.1.4. Requisitos de los edificios nZEB.....	31
3.1.5. Ejemplos de edificios nZEB .....	35
3.1.6. Recopilación de proyectos europeos sobre la construcción de edificios nZEB ...	40
3.2. Definición de los indicadores para evaluar el comportamiento dinámico del edificio.....	41
3.2.1. Enfoque del ciclo de vida .....	41
3.2.2. Level(s) .....	44
3.2.3. Confort .....	53
3.2.4. Certificación energética .....	60
<b>4. METODOLOGÍA</b>	<b>62</b>
4.1. Definición y descripción del sistema .....	62
4.1.1. Características del edificio .....	62
4.1.2. Características del sistema de climatización y ACS .....	64
4.2. Datos monitorizados.....	70
4.2.1. Datos meteorológicos.....	70



4.2.2.	Variables ambientales interiores .....	72
4.2.3.	Consumo energético .....	74
4.2.4.	Encuesta.....	76
4.3.	Selección de indicadores.....	81
4.3.1.	Indicadores de energía .....	81
4.3.2.	Indicadores de confort .....	86
4.3.3.	Indicador de escenario futuro [Level(s) 5.1.1] .....	93
4.4.	Simulación dinámica de la vivienda nZEB mediante TRNSYS 17.....	94
4.4.1.	Implementación de la vivienda en TRNSYS.....	96
4.4.2.	Funcionalidad del sistema .....	100
4.4.3.	Implementación del sistema de climatización en TRNSYS .....	106
4.4.4.	Implementación del sistema de ACS en TRNSYS .....	141
4.4.5.	Implementación del control en los sistemas en TRNSYS.....	146
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>166</b>
5.1.	Evaluación de los datos monitorizados .....	166
5.1.1.	Calculo de indicadores de energía .....	166
5.1.2.	Calculo de indicadores de confort.....	169
5.2.	Resultados simulación energética .....	173
5.2.1.	Calculo de indicadores de energía .....	173
5.2.2.	Calculo de indicadores de confort.....	182
5.2.3.	Estudio del comportamiento del edificio y los sistemas .....	187
5.3.	Comparación datos monitorizados con simulación .....	201
5.3.1.	Comparación de indicadores de energía .....	201
5.3.2.	Comparación de indicadores de confort.....	202
<b>6.</b>	<b>EVALUACIÓN DE CRITERIOS NZEB .....</b>	<b>205</b>
6.1.	Comparación con edificios de referencia .....	205
6.2.	Certificación energética .....	206
<b>7.</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL .....</b>	<b>208</b>
7.1.	Escenarios futuros [Level(s) 5.1.1]: año 2030 y año 2050.....	208
7.2.	Escenario futuro para el año 2030 .....	208
7.2.1.	Energía final .....	208
7.2.2.	Energía primaria .....	209
7.2.3.	Potencial calentamiento Global (GWP) [Level(s) 1.2].....	209
7.2.4.	Demanda energética anual .....	209
7.3.	Escenario futuro para el año 2050 .....	210

7.3.1.	Energía final.....	210
7.3.2.	Energía primaria.....	210
7.3.3.	Potencial calentamiento Global (GWP) [Level(s) 1.2] .....	211
7.3.4.	Demanda energética anual.....	211
7.4.	Comparación de los escenarios de futuro con el actual .....	211
7.4.1.	Comparación de los resultados de energía final .....	212
7.4.2.	Comparación resultados energía primaria .....	212
7.4.3.	Comparación resultados de las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	213
7.4.4.	Comparación de los resultados referentes a la demanda energética .....	213
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>215</b>
<b>9.</b>	<b>PRESUPUESTO</b> .....	<b>217</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>218</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>221</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Esquema con las Directivas Europeas. Fuente: propia.	24
Figura 2. Estado de las definiciones de nZEB en la UE en 2015. Fuente: [8].	26
Figura 3. Esquema del calendario de aplicación del nuevo DB HE. Fuente: [12].	28
Figura 4. Mapa Europeo edificios nZEB según zona climática. Fuente: [15].	36
Figura 5. Fotografías de los tres ejemplos de edificios nZEB. Fuente: [16].	36
Figura 6. Esquema simplificado de la definición de ACV. Fuente: propia.	42
Figura 7. Esquema de la economía circular. Fuente: [22].	43
Figura 8. Esquema simplificado de la estructura del marco Level(s). Fuente: propia.	45
Figura 9. Resumen de las perspectivas y las herramientas y métodos utilizados. Fuente: propia.	45
Figura 10. Comparación resumen de los niveles de evaluación. Fuente: [25].	46
Figura 11. Gráfico PPD en función del PMV. Fuente: [34].	57
Figura 12. Categorías de rango de confort según el modelo de Fanger y el Adaptativo. Fuente: [33].	59
Figura 13. Ejemplo diagrama de Givoni. Fuente: Propia.	60
Figura 14. Ejemplo de etiqueta de calificación energética. Fuente: [38].	61
Figura 15. Vista satélite de la ciudad donde se encuentra la vivienda estudiada. Fuente: Google Maps.	62
Figura 16. Imágenes de la vivienda desde el exterior. Fuente: Laura Bersabé.	63
Figura 17. Protecciones solares de la vivienda. Fuente: Laura Bersabé.	64
Figura 18. Gráfico de la temperatura promedio exterior de Zaragoza con su respectiva línea de tendencia. Fuente: propia.	71
Figura 19. Gráfico de la humedad promedio exterior de Zaragoza con su respectiva línea de tendencia. Fuente: propia.	71
Figura 20. Gráfico con los datos monitorizados de humedad durante una semana tipo de verano. Fuente: propia.	72
Figura 21. Gráfico con los datos monitorizados de la temperatura del aire durante una semana tipo de verano. Fuente: propia.	73
Figura 22. Gráfico con los datos monitorizados de humedad durante una semana tipo de invierno.	73
Figura 23. Gráfico con los datos monitorizados de la temperatura del aire durante una semana tipo de invierno.	74
Figura 24. Gráficos comparación entre la energía venida por Som Energia con el desglose de la mezcla de tecnologías de producción nacional. Mes de diciembre 2017. Fuente: [43].	75
Figura 25. Clasificación de las diferentes fuentes de energía renovable que utiliza Som Energia. Mes de diciembre 2017. Fuente: [43].	75
Figura 26. Escala de impacto medioambiental de las emisiones de dióxido de carbono. Mes de diciembre 2017. Fuente: [43].	76

Figura 27. Gráfico de los límites de temperaturas de funcionamiento. Fuente: propia.	92
Figura 28. Módulos en TRNSYS. [48]	94
Figura 29. Interfaz Simulation Studio. Fuente: [48].	95
Figura 30. Interfaz gráfica TRNBuild. Fuente: propia.	95
Figura 31. Ejemplo de representación en gráfico de los resultados del Simulation Studio. Fuente: Simulation Studio.	96
Figura 32. Zonas térmicas de la planta sótano. Fuente: [1].	97
Figura 33. Zonas térmicas de la planta baja. Fuente: [1].	98
Figura 34. Zonas térmicas de la primera planta. Fuente: [1].	99
Figura 35. Vista del sistema general implementado en Simulation Studio.	100
Figura 36. Vista de las válvulas, de la bomba de calor y de la bomba de circulación implementadas en Simulation Studio.	103
Figura 37. Conexiones entre la bomba de calor y la válvula general. Fuente: TRNSYS.	104
Figura 38. Conexiones entre la válvula general y la válvula de climatización. Fuente: TRNSYS.	104
Figura 39. Conexiones entre la válvula de retorno del sistema de climatización y la de retorno general. Fuente: TRNSYS.	104
Figura 40. Conexiones entre la válvula de retorno general y la bomba de circulación. Fuente: TRNSYS.	105
Figura 41. Conexiones entre la bomba de circulación y la bomba de calor. Fuente: TRNSYS.	105
Figura 42. Diagrama con el proceso de distribución de la válvula de calefacción 1. Fuente: Propia.	107
Figura 43. Diagrama con el proceso de distribución de la válvula de calefacción 2. Fuente: Propia.	107
Figura 44. Diagrama con el proceso de distribución de la válvula de calefacción 3. Fuente: Propia.	108
Figura 45. Sistema de válvulas del conjunto del sistema de calefacción implementado en TRNSYS. Fuente: TRNSYS.	108
Figura 46. Vista de la implementación del sistema de suelo radiante en el Simulation Studio.	112
Figura 47. Características de la capa activa. Fuente: TRNSYS.	113
Figura 48. Composición del suelo RAD_GROUNDFLOOR. Fuente: TRNSYS.	115
Figura 49. Composición del suelo RAD_TECHO_SÓTANO_SUELO_P1. Fuente: TRNSYS.	115
Figura 50. Composición del suelo RAD_TECHOP1_SUELOP2.	115
Figura 51. Características del aislamiento POLIESTIRENO_EXPANDIDO. Fuente: TRNSYS.	116
Figura 52. Asignación de suelos radiantes en TRNBuild. Fuente: TRNSYS.	117
Figura 53. Menú INPUTS en TRNBuild.	118
Figura 54. Menú de especificaciones de la capa activa de una división de suelo en TRNBuild.	119
Figura 55. Conexiones entre la válvula de climatización y la válvula de calefacción 1.	120
Figura 56. Conexiones entre las válvulas de calefacción.	120
Figura 57. Esquema del sistema de distribución implementado para el sistema de refrigeración mediante fancoils. Fuente: TRNSYS.	123

Figura 58. Icono del componente calculadora en TRNSYS. Fuente: TRNSYS.	124
Figura 59. Menú de la calculadora donde se crean las ecuaciones con sus respectivos inputs. Fuente: TRNSYS.	125
Figura 60. Captura del Sistema de refrigeración simulado en TRNSYS. Fuente: TRNSYS.	127
Figura 61. Captura de la simulación una vez implementado todo el sistema de climatización. Fuente: TRNSYS.	128
Figura 62. Ventana del menu del "Ventilation Type Manager" en TRNBuild. Fuente: TRNBuild.	128
Figura 63. Menú de los tipos de ventilación, concretamente con el de ventilación natural.	129
Figura 64. Asignación de los tipos de ventilación en la zona térmica P1_E.	130
Figura 65. Conexiones entre la válvula de climatización y la válvula de refrigeración. Fuente: Simulation Studio.	131
Figura 66. Conexiones entre la válvula de refrigeración y la válvula de distribución. Fuente: Simulation Studio.	131
Figura 67. Conexiones entre la válvula de distribución y el fancoil FC_P0_R. Fuente: Simulation Studio.	131
Figura 68. Conexiones entre la válvula de distribución y el fancoil FC_P0_L. Fuente: Simulation Studio.	132
Figura 69. Conexiones entre la válvula de distribución y el fancoil FC_P1. Fuente: Simulation Studio.	132
Figura 70. Conexiones entre la válvula de distribución y el fancoil FC_P2. Fuente: Simulation Studio.	133
Figura 71. Conexiones entre el FC_P0_R y la calculadora FC-Building. Fuente: Simulation Studio.	133
Figura 72. Conexiones entre el FC_P0_L y la calculadora FC-Building. Fuente: Simulation Studio.	134
Figura 73. Conexiones entre el FC_P1 y la calculadora FC-Building. Fuente: Simulation Studio.	134
Figura 74. Conexiones entre el FC_P1 y la calculadora FC-Building. Fuente: Simulation Studio.	135
Figura 75. Conexiones del FC_P0_R a la válvula de retorno FC.	138
Figura 76. Conexiones del FC_P0_L a la válvula de retorno FC.	139
Figura 77. Conexiones del FC_P1 a la válvula de retorno FC.	139
Figura 78. Conexiones del FC_P2 con la válvula de retorno FC.	140
Figura 79. Conexiones entre la válvula de retorno FC y la válvula de retorno del sistema de refrigeración.	140
Figura 80. Circuito de ACS implementado en el Simulation Studio. Fuente: Simulation Studio.	141
Figura 81. Funcionamiento del tanque ACS implementado en el Simulation Studio. Fuente: propia.	143
Figura 82. Fichero con los datos de demanda de ACS para 4 personas. Fuente: propia.	144
Figura 83. Conexiones entre la válvula general y el tanque de ACS. Fuente: Simulation Studio.	146
Figura 84. Conexiones entre el type 9 y el tanque ACS. Fuente: Simulation Studio.	146

Figura 85. Perfil correspondiente a la temperatura de consigna de invierno para el sistema de calefacción. Fuente: Simulation Studio.	148
Figura 86. Perfil correspondiente a las horas valle de invierno para el sistema de calefacción. Fuente: Simulation Studio.	149
Figura 87. Conexiones entre el perfil de temperatura de consigna y el termostato. Fuente: Simulation Studio.	150
Figura 88. Conexión del output del termostato con input calculadora general de control. Fuente: Simulation Studio.	150
Figura 89. Conexiones entre el perfil de ON-OFF de invierno y la calculadora de control general. Fuente: Simulation Studio.	150
Figura 90. Perfil correspondiente a la temperatura de consigna de verano para el sistema de refrigeración. Fuente: Simulation Studio.	152
Figura 91. Perfil correspondiente a las horas valle de verano para el sistema de refrigeración. Fuente: Simulation Studio.	153
Figura 92. Conexiones entre el perfil de temperatura de consigna para verano con el termostato. Fuente: Simulation Studio.	153
Figura 93. Conexiones entre el termostato y la calculadora general de control. Fuente: Simulation Studio.	154
Figura 94. Conexión del perfil ON-OFF de verano a la calculadora de control general. Fuente: Simulation Studio.	154
Figura 95. Circuito de control implementado para el sistema de climatización. Fuente: Simulation Studio.	155
Figura 96. Ecuaciones generadas en la calculadora implementada en el circuito de ACS.	156
Figura 97. Conexiones entre el tanque ACS y el termostato. Fuente: Simulation Studio.	156
Figura 98. Conexión de la calculadora al termostato ACS. Fuente: Simulation Studio.	157
Figura 99. Conexiones del tanque de ACS a la calculadora. Fuente: Simulation Studio.	157
Figura 100. Conexiones entre el fichero del tiempo (Weather Data) y la calculadora de ACS. Fuente: Simulation Studio.	158
Figura 101. Conexión entre la calculadora del sistema ACS y la calculadora de control general. Fuente: Simulation Studio.	158
Figura 102. Calculadora de control general con los outputs hacia la bomba de calor marcados. Fuente: Simulation Studio.	159
Figura 103. Conexiones entre la calculadora de control general (Control Sistema) y la bomba de calor. Fuente: Simulation Studio.	160
Figura 104. Calculadora de control general con los outputs hacia la bomba de circulación marcados. Fuente: Simulation Studio.	160

Figura 105. Conexión de la ecuación Ctrl_bomba de la calculadora de control general con la bomba de circulación. Fuente: Simulation Studio.	161
Figura 106. Conexiones del termostato del sistema de ACS con la válvula general. Fuente: Simulation Studio.	161
Figura 107. Calculadora de control general con los outputs hacia la válvula de climatización marcados. Fuente: Simulation Studio.	162
Figura 108. Conexión de la ecuación de control valv_clima_control de la calculadora de control general con la bomba de circulación. Fuente: Simulation Studio.	162
Figura 109. Calculadora de control general con la ecuación de control de la ventilación natural marcado. Fuente: Simulation Studio.	163
Figura 110. Conexión entre la calculadora de control general y la vivienda (Type 56). Fuente: Simulation Studio.	164
Figura 111. Circuito de la macro Control External Shading. Fuente: Simulation Studio.	164
Figura 112. Conexiones provenientes de la macro Control External Shading con el modelo de la vivienda (Type 56). Fuente: Simulation Studio.	165
Figura 113. Gráfico del consumo mensual durante el año 2017. Fuente: propia.	166
Figura 114. Gráfico del consumo estacional durante el año 2017. Fuente: propia.	167
Figura 115. Resultados de la humedad relativa interior. Fuente: propia.	169
Figura 116. Resultados de la clasificación del PMV en categorías. Fuente: propia.	170
Figura 117. Resultados de la clasificación del PPD en categorías. Fuente: propia.	170
Figura 118. Resultados de la evaluación de las temperaturas interiores con el método adaptativo. Fuente: propia.	171
Figura 119. Resultados de la evaluación de las temperaturas interiores y exterior con el diagrama de Givoni. Fuente: propia.	172
Figura 120. Gráfico de la energía final de la vivienda en la simulación. Fuente: propia.	174
Figura 121. Gráfico de la energía final por estaciones de la vivienda en la simulación. Fuente: propia.	174
Figura 122. Gráfico de la energía final de la vivienda en la simulación teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia.	175
Figura 123. Gráfico de la energía final por estaciones de la vivienda en la simulación teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia.	176
Figura 124. Demanda mensual de la vivienda. Fuente: propia.	178
Figura 125. Demanda anual de la vivienda. Fuente: propia.	179
Figura 126. Demanda mensual de la vivienda teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia.	179
Figura 127. Demanda anual de la vivienda teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia.	180
Figura 128. Resultados de la simulación de la humedad relativa interior. Fuente: propia.	182

- Figura 129. Resultados de la simulación de la clasificación del PMV en categorías de la zona P1\_E.  
Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 183
- Figura 130. Resultados de la simulación de la clasificación del PPD en categorías de la zona P1\_E.  
Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 183
- Figura 131. Resultados de la simulación de la evaluación de las temperaturas interiores con el método adaptativo. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 184
- Figura 132. Resultados de la simulación de la evaluación de las temperaturas interiores y exterior con el diagrama de Givoni. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 186
- Figura 133. Gráfico de las temperaturas interiores de cada zona de la vivienda simulada y la temperatura ambiente exterior en una semana tipo de invierno. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 187
- Figura 134. Gráfico de la temperatura interior de la zona controlada de la vivienda simulada y la temperatura interior monitorizada en una semana tipo de invierno. Fuente: propia. \_\_\_\_ 188
- Figura 135. Gráfico del control del sistema de calefacción y la regulación de la temperatura interior de la zona controlada de la vivienda de la simulación en una semana tipo de invierno. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 189
- Figura 136. Gráfico del funcionamiento del suelo radiante de la vivienda de la simulación en una semana tipo de invierno. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 190
- Figura 137. Gráfico de las temperaturas interiores de cada zona de la vivienda simulada y la temperatura ambiente exterior en una semana tipo de verano. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 191
- Figura 138. Gráfico de la temperatura interior de la zona controlada de la vivienda simulada y la temperatura interior monitorizada en una semana tipo de verano. Fuente: propia. \_\_\_\_ 192
- Figura 139. Gráfico del control del sistema de refrigeración y ventilación y la regulación de la temperatura interior de la zona controlada de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 193
- Figura 140. Gráfico del funcionamiento de los fancoils de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 194
- Figura 141. Gráfico del funcionamiento del sistema de ACS de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 195
- Figura 142. Gráfico de la demanda del sistema de ACS de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 196
- Figura 143. Gráfico del funcionamiento de la bomba de calor de la vivienda de la simulación en una semana tipo de invierno. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 197
- Figura 144. Gráfico del funcionamiento de la bomba de calor de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 198
- Figura 145. Gráfico del control de la bomba de calor de la vivienda de la simulación en una semana tipo de invierno. Fuente: propia. \_\_\_\_\_ 199



Figura 146. Gráfico del control de la bomba de calor de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia.	200
Figura 147. Icono del Type 15, referente al fichero de datos meteorológicos. Fuente: Simulation Studio.	208
Figura 148. Gráfico con los resultados de la demanda anual de la vivienda para el año 2030. Fuente: propia.	210
Figura 149. Gráfico con los resultados de la demanda anual de la vivienda para el año 2050. Fuente: propia.	211
Figura 150. Planos constructivos de la vivienda. Fuente: Ferrán Calzada y Alberto Mendo (Ingennus Urban Consulting), y Daniel Olano.	222
Figura 151. Planos del sistema de suelo radiante de la vivienda. Fuente: Ferrán Calzada y Alberto Mendo (Ingennus Urban Consulting), y Daniel Olano.	224
Figura 152. Planos del sistema de fancoils de la vivienda. Fuente: Ferrán Calzada y Alberto Mendo (Ingennus Urban Consulting), y Daniel Olano.	226

## Índice de tablas

Tabla 1. Características de la definición nZEB. Fuente: [9].	27
Tabla 2. Comparación del sistema de indicadores entre el DB HE de 2013 y el DB HE de 2018. Fuente: [13].	30
Tabla 3. Tabla con las especificaciones del edificio nZEB “Mosta House of Character”. Fuente: [16].	37
Tabla 4. Tabla con las especificaciones del edificio nZEB “ECOsil”. Fuente: [16].	38
Tabla 5. Tabla con las especificaciones del edificio nZEB “Single-family house in Vallda Heberg passive house residential area”. Fuente: [16].	39
Tabla 6. Etapas y módulos del ciclo de vida. Fuente: [21].	42
Tabla 7. Valor de la tasa metabólica para distintos tipos de actividad. Fuente: [34].	55
Tabla 8. Valor de la resistencia clo para distintos tipos de vestimenta. Fuente: [34].	56
Tabla 9. Escala de sensación térmica de siete niveles. Fuente: [34].	56
Tabla 10. Categorías de ambiente térmico. Fuente: [34].	57
Tabla 11. Valores de A y B en función de la velocidad del aire. Fuente: [33].	58
Tabla 12. Especificaciones técnicas de la unidad exterior de la bomba de calor. Fuente: [39].	65
Tabla 13. Especificaciones técnicas de la unidad interior de la bomba de calor. Fuente: [40].	65
Tabla 14. Dimensiones tuberías del sistema de suelo radiante. Fuente: [41].	66
Tabla 15. Propiedades tuberías del sistema de suelo radiante. Fuente: [41].	66
Tabla 16. Dimensiones placa aislante sistema suelo radiante. Fuente: [41].	66
Tabla 17. Propiedades placa aislante sistema suelo radiante. Fuente: [41].	67
Tabla 18. Especificaciones técnicas de los fancoils Zona 1 y Zona 4. Fuente: [42].	68
Tabla 19. Especificaciones técnicas del fancoil Zona 2. Fuente: [42].	68

Tabla 20. Especificaciones técnicas del fancoil Zona 3. Fuente: [42].	69
Tabla 21. Resumen de las temperaturas y humedades relativas extremas y promedio. Fuente: propia.	71
Tabla 22. Perfil de ocupación diario obtenido. Fuente: propia.	77
Tabla 23. Perfil anual de ocupación obtenido. Fuente: propia.	77
Tabla 24. Tipo de actividad realizada según franja horaria. Fuente: propia.	78
Tabla 25. Factores de conversión energía final primaria. Fuente: [45].	83
Tabla 26. Factores de emisión de CO <sub>2</sub> . Fuente: [45].	84
Tabla 27. Tabla con los valores de los indicadores energéticos de referencia para la localidad de Zaragoza. Fuente: [47].	85
Tabla 28. Tabla con los valores de C1. Fuente: [47].	86
Tabla 29. Días donde la vivienda esta desocupada. Fuente: propia.	86
Tabla 30. Descripción de cada categoría utilizada. Fuente: [33].	87
Tabla 31. Criterios para la clasificación en categorías de la humedad relativa interior. Fuente: [33].	88
Tabla 32. Categorías para la determinación del confort en edificios calentados y enfriados mecánicamente. Fuente: [33].	89
Tabla 33. Valores considerados de clo para cada franja horaria. Fuente: propia.	90
Tabla 34. Valores de la tasa metabólica met para cada franja horaria. Fuente: propia.	90
Tabla 35. Ecuaciones para determinar el criterio de diseño (Método Adaptativo). Fuente: [33].	91
Tabla 36. Clasificación de las zonas térmicas de la planta sótano, con sus respectivas áreas y volúmenes.	97
Tabla 37. Clasificación de las zonas térmicas de la planta baja, con sus respectivas áreas y volúmenes.	98
Tabla 38. Clasificación de las zonas térmicas de la primera planta, con sus respectivas áreas y volúmenes.	98
Tabla 39. Características técnicas del sistema SATE de la vivienda. [1]	99
Tabla 40. Tabla con los valores de la transmitancia térmica de los distintos suelos de la vivienda.	99
Tabla 41. Valores de los parámetros introducidos en el Type 948.	101
Tabla 42. Valores de los parámetros introducidos en el Type 110.	103
Tabla 43. Tabla con las conexiones entre la bomba de calor y la válvula general.	104
Tabla 44. Tabla con las conexiones entre la válvula general y la válvula de climatización.	104
Tabla 45. Tabla con las conexiones entre la válvula de retorno del sistema de climatización y la válvula de retorno general.	105
Tabla 46. Tabla con las conexiones entre la válvula de retorno general y la bomba de circulación.	105
Tabla 47. Tabla con las conexiones entre la bomba de circulación y la bomba de calor.	105
Tabla 48. Tabla con los parámetros introducidos en las válvulas de calefacción de ida.	109

Tabla 49. Tabla con los parámetros introducidos en las válvulas de retorno del sistema de calefacción.	
Fuente: propia.	109
Tabla 50. Tabla con el valor de caudal unitario y los valores de caudal necesarios para cada división de suelo radiante de la vivienda. Fuente: propia.	110
Tabla 51. Tabla con los resultados correspondientes a los suelos radiantes de la P0.	111
Tabla 52. Tabla con los resultados correspondientes a los suelos radiantes de la P1.	111
Tabla 53. Tabla con los resultados correspondientes a los suelos radiantes de la P2.	112
Tabla 54. Tabla con los nombres y la ubicación de los suelos radiantes a implementar. Fuente: propia.	114
Tabla 55. Tabla con inputs de caudal y temperatura correspondientes al suelo radiante.	119
Tabla 56. Tabla con las conexiones de la válvula de climatización y la válvula de calefacción 1.	120
Tabla 57. Tabla con las conexiones de la válvula de calefacción 1 y la válvula de calefacción 2.	120
Tabla 58. Tabla con las conexiones de la válvula de calefacción 2 y la válvula de calefacción 3.	120
Tabla 59. Tabla con las conexiones entre la válvula de calefacción 1 y el type 56.	121
Tabla 60. Tabla con las conexiones entre la válvula de calefacción 2 y el type 56.	121
Tabla 61. Tabla con las conexiones entre la válvula de calefacción 3 y el type 56.	122
Tabla 62. Distribución de los fancoils con sus respectivos nombres utilizados en el Simulation Studio.	123
Tabla 63. Valores de los parámetros de las válvulas de refrigeración y de distribución del sistema de fancoils introducidos en TRNSYS.	123
Tabla 64. Valores de los parámetros de los fancoils del sistema de refrigeración introducidos en TRNSYS.	124
Tabla 65. Tabla con los resultados de los cálculos de porcentaje de superficie y caudal de aire para cada zona térmica.	126
Tabla 66. Tabla con los nombres de los parámetros introducidos como inputs para el sistema de refrigeración de la zona térmica P0_O.	129
Tabla 67. Tabla con las conexiones de la válvula de climatización a la válvula de refrigeración.	131
Tabla 68. Tabla con las conexiones de la válvula de refrigeración a la válvula de distribución.	131
Tabla 69. Tabla con las conexiones de la válvula de distribución al fancoil FC_P0_R.	132
Tabla 70. Tabla con las conexiones de la válvula de distribución al fancoil FC_P0_L.	132
Tabla 71. Tabla con las conexiones de la válvula de distribución al fancoil FC_P1.	132
Tabla 72. Tabla con las conexiones de la válvula de distribución al fancoil FC_P2.	133
Tabla 73. Tabla con las conexiones del FC_P0_R a la calculadora FC-Building.	134
Tabla 74. Tabla con las conexiones del FC_P0_L a la calculadora FC-Building.	134
Tabla 75. Tabla con las conexiones del FC_P1 a la calculadora FC-Building.	135
Tabla 76. Tabla con las conexiones del FC_P2 a la calculadora FC-Building.	135
Tabla 77. Tabla con las conexiones entre el FC_P0_R y el type 56.	135

Tabla 78. Tabla con las conexiones entre el FC_P0_L y el type 56. _____	136
Tabla 79. Tabla con las conexiones del FC_P1 con el type 56. _____	136
Tabla 80. Tabla con las conexiones del FC_P2 con el type 56. _____	136
Tabla 81. Tabla con las conexiones de la calculadora FCBuilding al type 56. _____	137
Tabla 82. Tabla con las conexiones referentes a la temperatura del aire de retorno del type 56 a la calculadora Building-FC. _____	137
Tabla 83. Tabla con las conexiones referentes a la humedad relativa de retorno del type 56 a la calculadora Building-FC. _____	138
Tabla 84. Tabla con las conexiones entre el FC_P0_R y la válvula de retorno FC. _____	138
Tabla 85. Tabla con las conexiones entre el FC_P0_L y la válvula de retorno FC. _____	139
Tabla 86. Tabla con las conexiones del FC_P1 a la válvula de retorno FC. _____	139
Tabla 87. Tabla con las conexiones del FC_P2 a la válvula de retorno FC. _____	140
Tabla 88. Tabla con las conexiones entre la válvula de retorno FC y la válvula de retorno del sistema de refrigeración. _____	140
Tabla 89. Tabla con los valores introducidos en los parámetros del tanque ACS: Type 534. Fuente: propia. _____	142
Tabla 90. Tabla con los valores de los parámetros introducidos en el Type 9 en el Simulation Studio. Fuente: propia. _____	145
Tabla 91. Tabla con las conexiones de la válvula general y el tanque de ACS. Fuente: propia. ____	146
Tabla 92. Tabla con las conexiones entre el type 9 y el tanque de ACS. Fuente: propia. _____	146
Tabla 93. Tabla con las conexiones de entrada del termostato con el perfil de temperatura de consigna. Fuente: propia. _____	150
Tabla 94. Tabla con la conexión de salida del termostato y un output de la calculadora general de control. Fuente: propia. _____	150
Tabla 95. Tabla con las conexiones entre el perfil ON-OFF invierno y la calculadora control general. Fuente: propia. _____	150
Tabla 96. Tabla con las conexiones entre el perfil de temperatura de consigna de verano con el termostato. Fuente: propia. _____	154
Tabla 97. Tabla con las conexiones entre el termostato y la calculadora general de control. Fuente: propia. _____	154
Tabla 98. Conexión entre el perfil ON-OFF verano y la calculadora de control general. Fuente: propia. _____	155
Tabla 99. Tabla con las conexiones entre el tanque de ACS y el termostato. Fuente: propia. ____	157
Tabla 100. Tabla con las conexiones entre la calculadora del circuito de ACS y el termostato. Fuente: propia. _____	157
Tabla 101. Tabla con las conexiones entre el tanque de ACS y la calculadora. Fuente: propia. ____	157

---

Tabla 102. Tabla con las conexiones entre el fichero de datos meteorológicos y la calculadora ACS.	
Fuente: propia.	158
Tabla 103. Tabla con la conexión entre la calculadora ACS y la calculadora de control general.	
Fuente: propia.	158
Tabla 104. Tabla con las conexiones entre la calculadora de control general y la bomba de calor.	
Fuente: propia.	160
Tabla 105. Tabla con las conexiones entre la calculadora de control general y la bomba de circulación.	
Fuente: propia.	161
Tabla 106. Tabla con las conexiones entre el termostato ACS y la válvula general.	
Fuente: propia.	162
Tabla 107. Tabla con las conexiones entre la calculadora de control general y la válvula de climatización.	
Fuente: propia.	163
Tabla 108. Tabla con la conexión entre la calculadora de control general y el modelo de la vivienda.	
Fuente: propia.	164
Tabla 109. Tabla con las conexiones entre la macro Control External Shading y el modelo de la vivienda.	
Fuente: propia.	165
Tabla 110. Valor de la energía final anual de la vivienda.	
Fuente: propia.	167
Tabla 111. Valores de referencia del consumo medio anual según zonas geográficas de España.	
Fuente: REE.	168
Tabla 112. Valores de energía primaria de la vivienda.	
Fuente: propia.	168
Tabla 113. Valor de las emisiones de CO <sub>2</sub> de la vivienda.	
Fuente: propia.	168
Tabla 114. Resultado total anual de la energía final de la vivienda en la simulación.	
Fuente: propia.	175
Tabla 115. Resultado total anual de la energía final de la vivienda en la simulación teniendo en cuenta la ocupación.	
Fuente: propia.	176
Tabla 116. Valores de energía primaria de la vivienda en la simulación.	
Fuente: propia.	177
Tabla 117. Valores de energía primaria de la vivienda en la simulación teniendo en cuenta la ocupación.	
Fuente: propia.	177
Tabla 118. Valor de las emisiones de CO <sub>2</sub> de la vivienda en la simulación.	
Fuente: propia.	181
Tabla 119. Valor de las emisiones de CO <sub>2</sub> de la vivienda en la simulación teniendo en cuenta la ocupación.	
Fuente: propia.	181
Tabla 120. Resumen de los indicadores de energía con y sin teniendo en cuenta la ocupación.	
Fuente: propia.	181
Tabla 121. Resumen de la demanda anual con y sin teniendo en cuenta la ocupación.	
Fuente: propia.	182
Tabla 122. Comparación de los indicadores de energía.	
Fuente: propia.	201
Tabla 123. Comparación de la transmitancia térmica entre la vivienda de estudio y los ejemplos nZEB.	
Fuente: propia.	205

Tabla 124. Tabla con los valores de los indicadores de energía para el ACS del edificio de referencia. Fuente: propia.	206
Tabla 125. Tabla con los valores totales del indicador de emisiones y el de energía primaria total para el edificio de referencia. Fuente: propia.	206
Tabla 126. Tabla con los valores de los límites para las emisiones y para la energía primaria calculados. Fuente: propia.	206
Tabla 127. Tabla resumen con las clasificaciones energéticas por emisiones de CO <sub>2</sub> y por energía primaria. Fuente: propia.	207
Tabla 128. Valor de la energía final de la vivienda para el año 2030. Fuente: propia.	209
Tabla 129. Valores de energía primaria de la vivienda para el año 2030. Fuente: propia	209
Tabla 130. Tabla con el valor de las emisiones de CO <sub>2</sub> de la vivienda para el año 2030. Fuente: propia.	209
Tabla 131. Tabla con el resultado de la energía final total anual para el año 2050. Fuente: propia.	210
Tabla 132. Valores de energía primaria de la vivienda para el año 2050. Fuente: propia.	210
Tabla 133. Tabla con el valor de las emisiones de CO <sub>2</sub> de la vivienda para el año 2050. Fuente: propia.	211
Tabla 134. Tabla comparativa con los valores de energía final para los años 2017, 2030 y 2050. Fuente: propia.	212
Tabla 135. Tabla comparativa de los indicadores de energía primaria para los años 2017, 2030 y 2050. Fuente: propia.	212
Tabla 136. Tabla con los valores de emisiones de CO <sub>2</sub> para el año 2017, 2030 y 2050. Fuente: propia.	213
Tabla 137. Tabla comparativa con los valores de las demandas de cada tipo de sistema para el año 2017, 2030 y 2050. Fuente: propia.	214
Tabla 138. Tabla con las fracciones sobre el total de la demanda de cada sistema para el año 2017, 2030 y 2050. Fuente: propia.	214
Tabla 139. Desglose de costes para la realización del proyecto. Fuente: propia.	217

# 1. Prefacio

## 1.1. Motivación

Como estudiantes del Grado de Ingeniería de la Energía compartimos especial interés en poder desarrollar un proyecto real relacionado con la sostenibilidad energética de una vivienda existente. La realización de este proyecto nos permite ampliar nuestros conocimientos de ahorro y eficiencia energética en edificios; aprender a utilizar el software TRNSYS 17 el cual permite la simulación del comportamiento de diferentes tipos de sistemas energéticos. Además de trabajar en un proyecto real y disponer de datos reales.

Es una gran oportunidad poder colaborar con el IREC (Instituto de Investigación en Energía de Cataluña) y trabajar conjuntamente en uno de sus proyectos ya que es un centro de investigación de referencia que nos aporta las herramientas y recursos necesarios para seguir adelante.

## 1.2. Requisitos previos

Este proyecto toma como base una vivienda simulada en TRNSYS 17 realizado previamente en un Trabajo de final de grado en colaboración con IREC [1]. De este trabajo se ha usado únicamente la simulación del modelo físico del edificio, el cual ha servido como punto de partida de este proyecto.

Por otra parte, también se ha tenido acceso a todos los datos esenciales que caracterizan la vivienda, así como su localización exacta, los planos y otras descripciones técnicas del edificio. El edificio estudiado es una vivienda unifamiliar situada en Zaragoza, construida en 2015, obra de Ferrán Calzada y Alberto Mendo (Ingennus Urban Consulting), y Daniel Olano.

En el marco del estudio del comportamiento de la fachada de la vivienda, ROCKWOOL inició la monitorización de datos higrotérmicos desde agosto de 2016, además de efectuar ensayos de aislamiento acústico y ruido aéreo. Las principales conclusiones de este estudio se publicaron en el IV Congreso de Edificios de Energía Casi Nula (2017) [2].

Para el presente trabajo se ha contado tanto con los datos monitorizados de la vivienda, como también datos meteorológicos de su ubicación los cuales permiten evaluar el comportamiento real de esta.

IREC ha proporcionado la licencia al software TRNSYS 17 para la simulación energética de la vivienda.

## 2. Introducción

La creciente preocupación que se vive hoy en día debida a la situación ambiental afecta a muchos ámbitos y en concreto al ámbito del consumo energético. Actualmente el sector de la edificación representa el 40% del consumo energético total de la Unión Europea [3]. El sector de la edificación está en expansión por lo que cada vez ganan más popularidad los estudios energéticos tanto en ámbito residencial como en el industrial o comercial para llegar así a reducir este porcentaje creciente y lograr que los edificios sean sostenibles.

Ante dicho escenario la Unión Europea ha marcado unos objetivos (conocidos como 20-20-20) de acuerdo con la directiva europea para reducir el impacto ambiental.

La función de los objetivos marcados es aumentar el uso de las energías renovables y reducir el consumo energético. Para lograrlo, los tres objetivos principales fijados son los siguientes:

- Reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero un 20% con respecto al 1990, con un compromiso internacional de elevar este objetivo hasta un 30%.
- Lograr una aportación energética del 20% proveniente de fuentes renovables para el consumo de energía final de la Unión Europea para el 2020 y una aportación del 10% en el sector del transporte.
- Aumentar la eficiencia energética con la finalidad de ahorrar un 20% del consumo energético de la Unión Europea respecto a las proyecciones para el año 2020.

Además de los objetivos fijados en la directiva, posteriormente tuvo lugar el Acuerdo de París en diciembre del año 2015 donde se marcaron más objetivos relacionados con el cambio climático y la sostenibilidad. Los objetivos acordados fueron los siguientes [4]:

- El objetivo a largo plazo de mantener el aumento de la temperatura media global por debajo de los 2°C, con la intención de limitarlo a 1,5°C.
- Promover la resiliencia al clima y la adaptación de las ciudades al cambio climático.

Con tal de poder cumplir con los objetivos establecidos, la UE ha impulsado diversos proyectos, entre ellos los edificios de energía casi nula (nZEB).

Uno de los aspectos clave para asegurar el impacto de esta clase de edificios es realizar un análisis post-ocupacional de la vivienda y monitorizar su funcionamiento para comprobar que efectivamente el diseño y las medidas implementadas cumplen con el efecto esperado.



La monitorización se centra en el balance energético y también se tienen en cuenta los parámetros ambientales como la temperatura, humedad y CO<sub>2</sub>, entre otros. Gracias a estos datos se podrán determinar las condiciones de confort actuales y verificar si estas cumplen con los requisitos establecidos en las normativas vigentes.

Referente al confort ambiental, engloba la comodidad y el bienestar de los habitantes con su entorno. Es decir, cómo un individuo percibe el ambiente dependiendo de los parámetros físicos del entorno, como serían el ambiental y arquitectónico, y a su vez los factores personales, sociales y culturales.

## **2.1. Objetivos del trabajo**

El principal objetivo de este proyecto es realizar una evaluación post-ocupacional del comportamiento de una vivienda desde el punto de vista energético y de confort ambiental.

Para alcanzar este objetivo se establecen una serie de objetivos secundarios que permitirán llevar a cabo todo el proceso:

- Conocer y caracterizar los edificios nZEB.
- Definir todos los indicadores para evaluar la vivienda desde el punto de vista energético, ambiental y de confort térmico.
- Analizar los datos monitorizados reales de la vivienda.
- Desarrollar una simulación energética de la vivienda utilizando el programa TRNSYS 17.
- Cálculo y comparación de todos los indicadores establecidos tanto de los datos monitorizados reales como de los resultados obtenidos mediante la simulación.
- Análisis del impacto ambiental de la vivienda en los escenarios futuros 2030 y 2050.

La finalidad de este estudio no es sino, hacer un diagnóstico del estado actual del edificio para obtener una comparación con las condiciones de diseño, detectar posibles problemas e identificar posibles medidas de mejora.

### 3. Estado del arte

#### 3.1. Edificios nZEB

Previo a la explicación de las definiciones y características de los edificios nZEB se va a determinar el contexto legal que engloba el concepto nZEB.

La Directiva Europea que engloba el concepto nZEB es la EPBD *Energy Performance Building Directive* [5]. La primera Directiva es la EPBD 2002/91/EC [6], más adelante se ha redefinido mediante las Directivas EPBD, 2010/31/EU [3] y 2018/844/EU [7]. Todas ellas son relativas a la eficiencia energética de los edificios. A continuación, en la Figura 1 se muestra un resumen de cada Directiva con sus respectivas modificaciones:

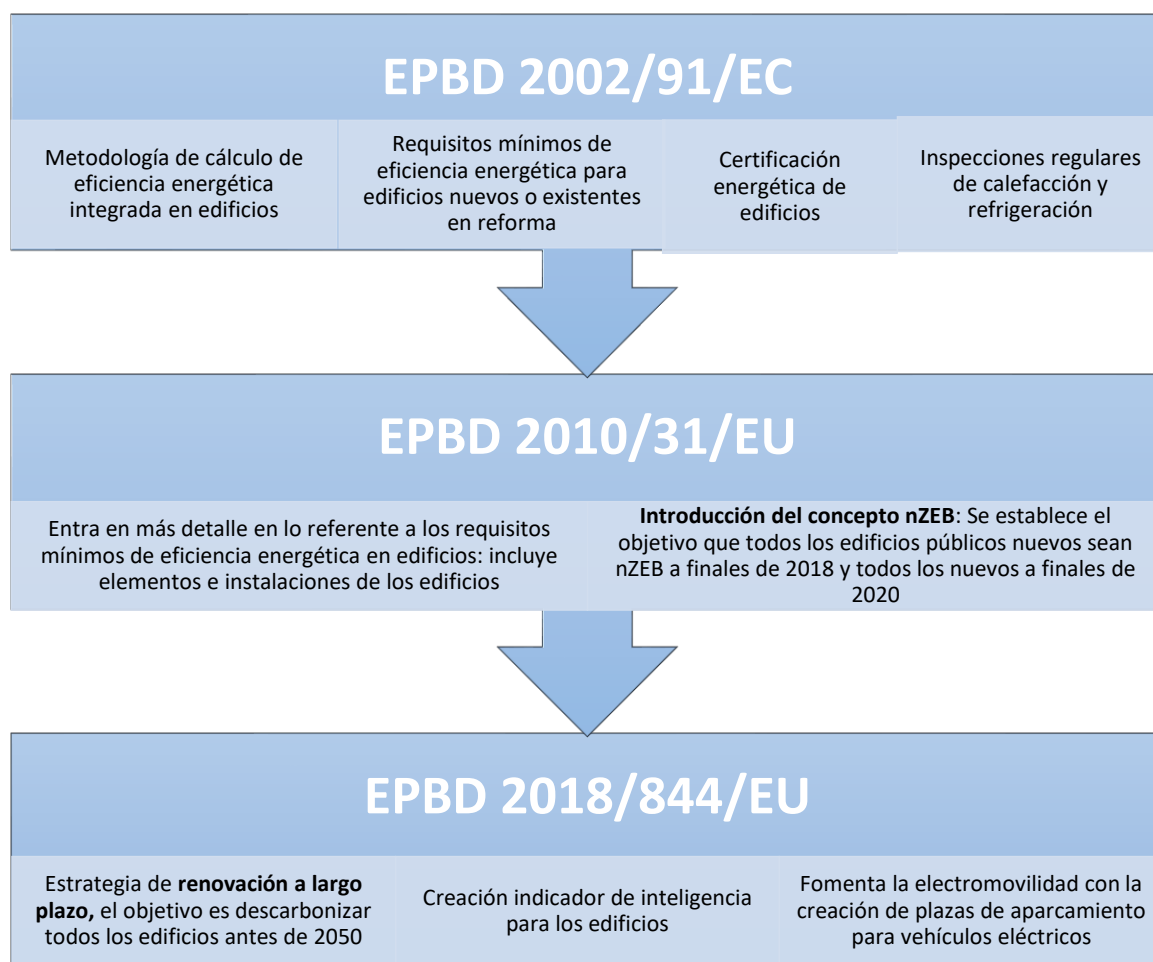


Figura 1. Esquema con las Directivas Europeas. Fuente: propia.

### **3.1.1. Definición general**

La definición de un edificio nZEB está estipulada en la directiva europea 2010/31/EU concretamente en el artículo 2 apartado b [3]: “edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida *in situ* o en el entorno”. El anexo I determina: “La eficiencia energética de un edificio se determinará partiendo de la cantidad, calculada o real, de energía consumida anualmente para satisfacer las distintas necesidades ligadas a su utilización normal, que refleje la energía necesaria para la calefacción y la refrigeración (energía necesaria para evitar un calentamiento excesivo) a fin de mantener las condiciones de temperatura previstas para el edificio y sus necesidades de agua caliente sanitaria”.

La Directiva opta por definir el panorama general de los edificios nZEB, dando una gran flexibilidad a los Estados Miembros para perfeccionarlo; dotando el concepto nZEB como muy flexible sin una definición armonizada en toda la UE. Recae en cada Estado miembro la responsabilidad de definir en sus planes nacionales lo que constituye un nZEB estudiando la viabilidad de implementar dicho concepto en sus contextos nacionales.

La fecha límite establecida para los miembros de la UE para implementar el concepto de nZEB en sus respectivos territorios es el 31 de diciembre de 2018, tal y como está estipulado en el artículo 9 de la Directiva[3]: “después del 31 de diciembre de 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas sean edificios de consumo de energía casi nulo”. Se establece también que a finales del 2020 todos los edificios de nueva construcción deberán ser nZEB.

Cada contexto nacional deberá estudiar qué medidas implementar para mejorar la eficiencia energética de sus edificios. Para ello se deben tener en cuenta las condiciones climáticas y particularidades individuales del lugar, como también el entorno ambiental interior y la rentabilidad económica. Por lo tanto, cada país miembro deberá realizar su Plan Nacional con la finalidad de promover y aumentar el nombre de edificios nZEB.

Referente a la situación actual Europea, la información más actualizada de la que se dispone data del 2015. En la siguiente figura se muestra en qué fase se encontraba cada país europeo en 2015:

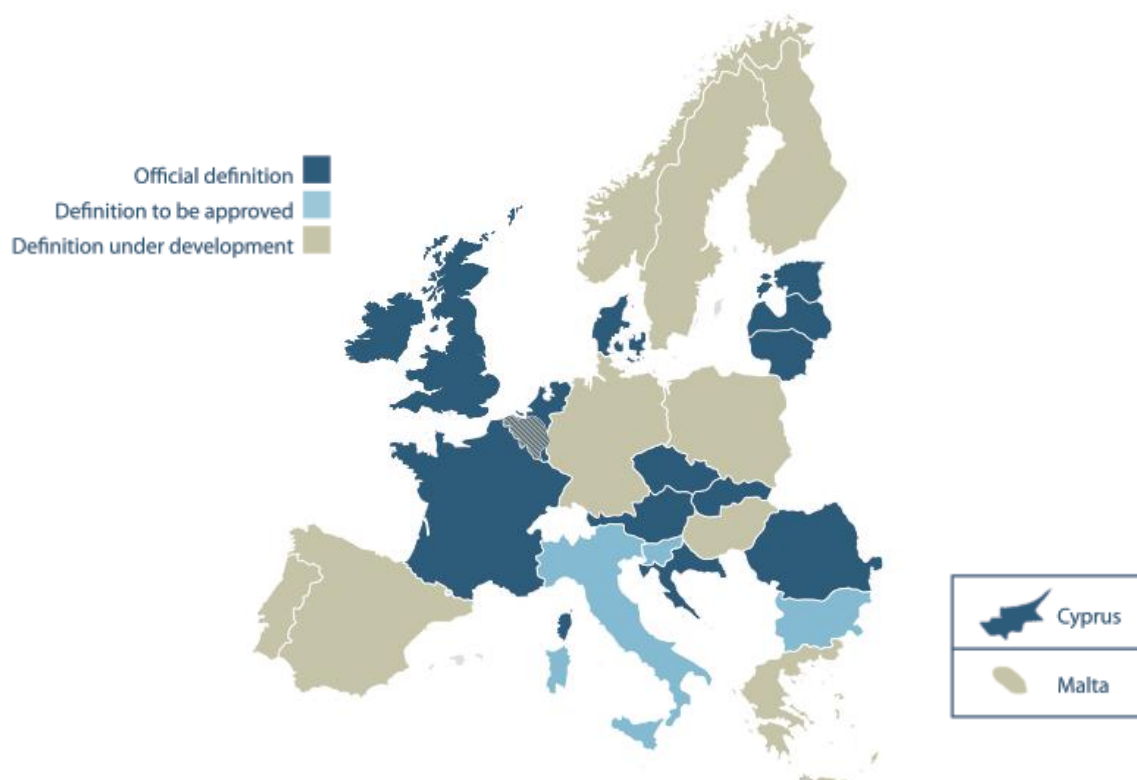


Figura 2. Estado de las definiciones de nZEB en la UE en 2015. Fuente: [8].

Actualmente aún no se ha realizado una actualización del estado de las definiciones de nZEB a nivel europeo, aunque la Directiva exige que a finales de 2018 todos los países miembros dispongan de una definición. Por lo tanto, el mapa actual debería mostrar que todos los países de la UE ya tienen la definición oficial de nZEB. Aun así, la Figura 2 nos sirve para saber cuáles son los países más adelantados con la definición nZEB y cuáles son los que se encuentran más atrasados.

En conclusión, de la Figura 2 se puede extraer que en 2015:

- La definición oficial para el concepto nZEB está disponible en 15 países.
- Tres países han definido ya el concepto nZEB, pero están a la espera de implementarlo en su legislación.
- En los 9 países restantes la definición aún está en fase de desarrollo.

### 3.1.1.1. Requisitos de la definición nZEB

Referente a las características necesarias que debe tener la definición de nZEB según el informe realizado por *Building Performance Institute Europe* (BPIE) [9] se encuentran en la Tabla 1:

Tabla 1. Características de la definición nZEB. Fuente: [9].

CARACTERÍSTICAS DEFINICIÓN nZEB	
	Establecer los objetivos y los términos de manera clara, para evitar malentendidos y fallos en su implementación
	Debe ser técnica y financieramente factible
	Adaptable a las condiciones climáticas locales, tipo de construcción... sin comprometer el objetivo general
	Asegurar que su construcción cumpla los estándares de baja energía existentes
	Permitir e incluso fomentar la competencia abierta entre diferentes tecnologías
	Debe ser ambiciosa en términos de impacto ambiental y ser elaborado como un concepto abierto, capaz de mantenerse al día con el desarrollo de la tecnología
	Debe ser elaborada en base a un amplio acuerdo de los principales interesados (políticos, diseñadores, industria, inversores, usuarios, etc...)
	Inspirar y estimular una adopción más rápida del concepto

### 3.1.2. Definición nacional

El documento que tiene por objeto establecer reglas y procedimiento que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía es el Código Técnico de la Edificación (CTE) donde se encuentra el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE) [10].

En relación a las exigencias de la Directiva 2010/31/UE [3] sobre la eficiencia energética de los edificios, se ha redactado un documento preliminar de trabajo a nivel nacional para cumplir con dichas exigencias. El documento redactado es una actualización del DB-HE [11] del CTE debida a la necesidad de revisión de dicho documento. El nuevo documento contiene la actualización de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios como también la definición de los edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB). Además de asegurar el cumplimiento de los objetivos marcados por la Directiva [3], la actualización también tiene por objetivo lograr que la normativa resulte más fácil de entender y aplicar. A continuación, en la Figura 3 se muestra un esquema con el calendario de aplicación previsto del nuevo DB HE:

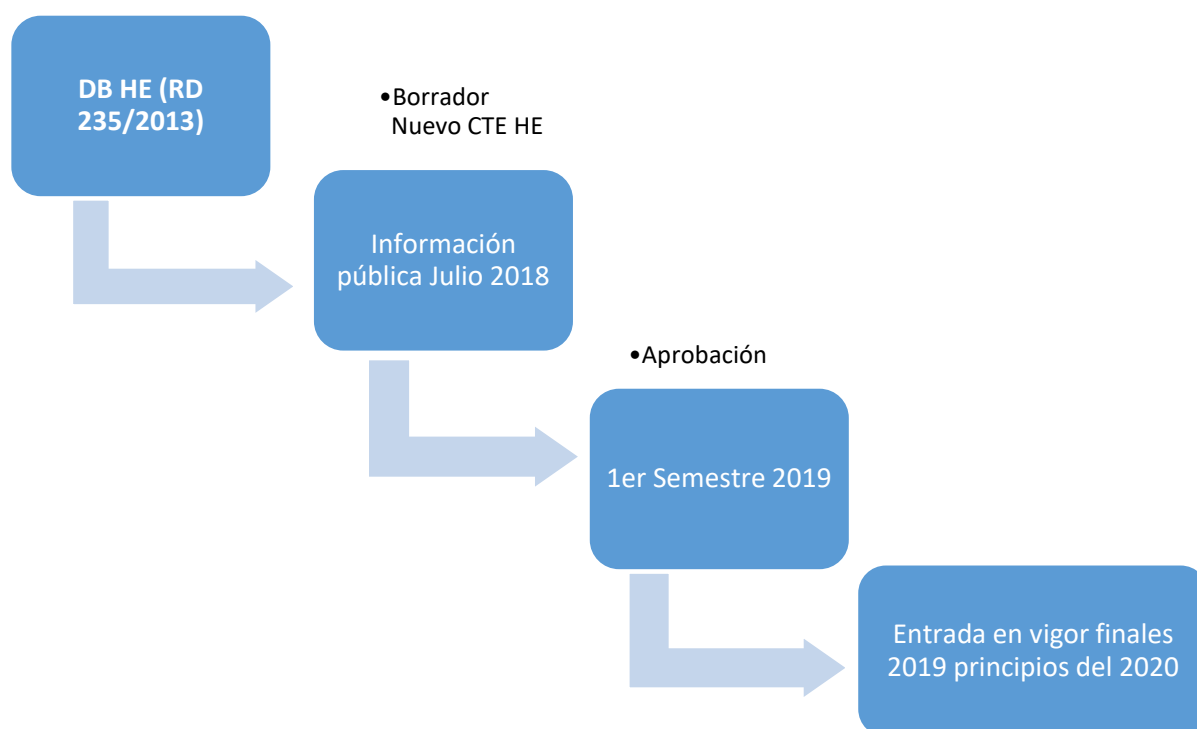


Figura 3. Esquema del calendario de aplicación del nuevo DB HE. Fuente: [12].

Según el apartado 3.1 del artículo 3 de dicha actualización [11], se necesitan mejoras en los siguientes puntos:

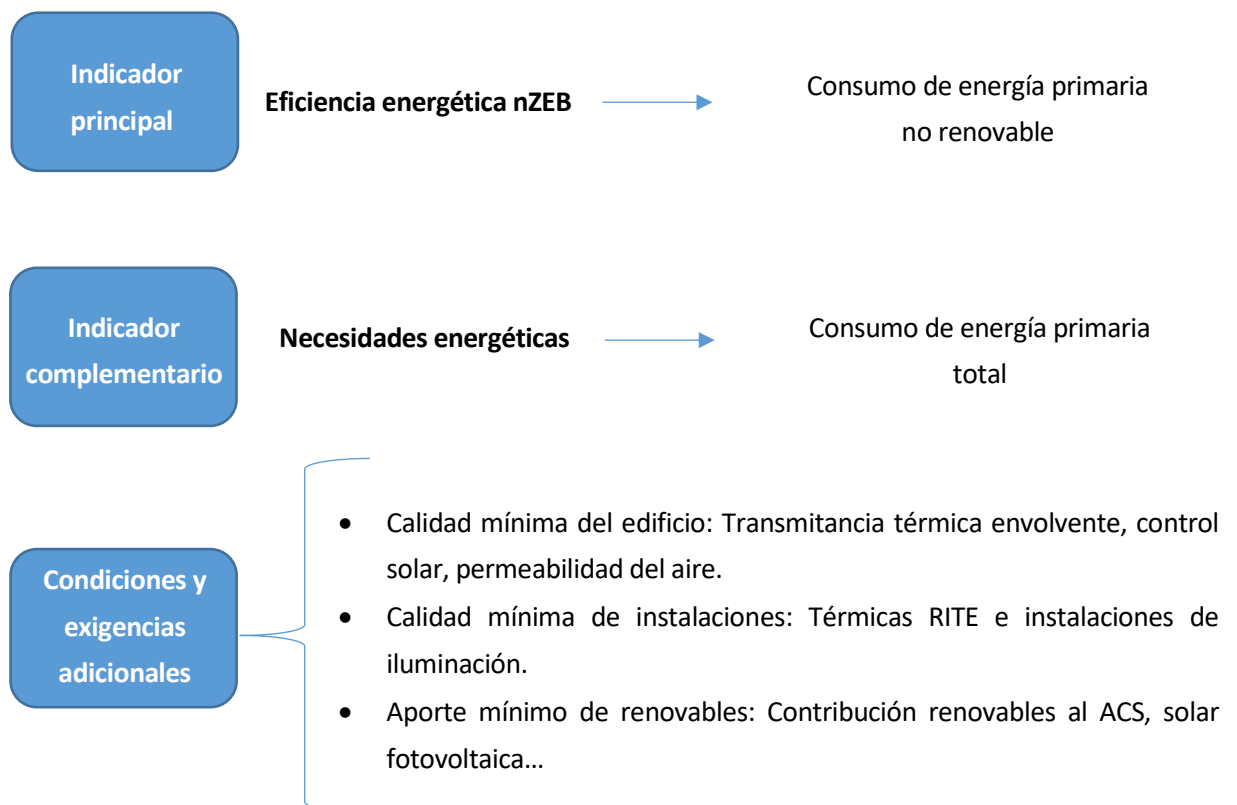
- “La evaluación de la eficiencia energética debe **contemplar el conjunto de las necesidades de energía del edificio, incluyendo el uso de energía procedente de fuentes renovables**”.
- “Se requiere **una visión más integrada, menos parcializada por servicios y tecnologías**, de las estrategias de eficiencia energética”;

- “La evaluación de la envolvente térmica no debe limitarse a controlar la calidad constructiva mínima de sus componentes, sino que debe incluir más aspectos del diseño pasivo y el tratamiento eficiente de las protecciones solares”;
- “Es necesario incidir en la **mayor facilidad de uso y aplicabilidad del documento**”.

### 3.1.2.1. Sistema de indicadores

La propuesta del nuevo DB HE incluye una limitación en el uso de energía primaria, limitando el consumo de energía primaria total ( $C_{EP,total}$ ) y el consumo de energía primaria no renovable ( $C_{EP,nren}$ ).

El sistema de indicadores que propone la actualización es el siguiente:



A continuación, se muestra en la Tabla 2 con la comparación del sistema de indicadores del DB HE antiguo con el nuevo:

Tabla 2. Comparación del sistema de indicadores entre el DB HE de 2013 y el DB HE de 2018. Fuente: [13].

DB HE 2013	DB HE 2018
Consumo de energía primaria no renovable ( $C_{EP,nren}$ ).	Consumo de energía primaria no renovable ( $C_{EP,nren}$ ).
Demanda de calefacción ( $D_{cal,lim}$ ) / Demanda de Refrigeración ( $D_{ref,lim}$ ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumo de energía primaria total (<math>C_{EP,total}</math>).</li> <li>Calidad mínima del edificio (Transmitancia térmica envolvente, control solar, permeabilidad del aire).</li> </ul>
Calidad mínima de las instalaciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>Instalaciones térmicas RITE</li> <li>Instalaciones de iluminación</li> </ul>	Calidad mínima de las instalaciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>Instalaciones térmicas RITE</li> <li>Instalaciones de iluminación</li> </ul>
Aporte mínimo de renovables: <ul style="list-style-type: none"> <li>Solar térmica ACS</li> <li>Solar fotovoltaica</li> </ul>	Aporte mínimo de renovables: <ul style="list-style-type: none"> <li>Contribución renovable ACS</li> <li>Solar fotovoltaica</li> </ul>

Las diferencias recaen en los indicadores usados en la demanda, donde se suprimen los indicadores de demanda de calefacción y refrigeración y se introduce el indicador de consumo de energía primaria total y los indicadores relacionados con la calidad mínima del edificio.

Referente al aporte mínimo de renovables, el nuevo DB HE no especifica qué tipo de energía renovable debe usarse en ACS, a diferencia del antiguo que solo especificaba el uso de energía solar térmica.



### **3.1.3. Diferenciación entre los conceptos NZEB y nZEB**

Existen dos conceptos muy parecidos, el NZEB y nZEB los cuales no se deben confundir. A continuación se van a diferenciar dichos conceptos [14] [3]:

#### **NZEB**

- El concepto NZEB significa " Net Zero Energy Building" y su objetivo es lograr un balance energético neto durante el período de un año. Para conseguirlo, implica que durante ese período la energía generada mediante el uso de fuentes de energía renovable instaladas en el edificio deberá ser igual o mayor que la demanda energética del mismo edificio.

#### **nZEB**

- El concepto nZEB significa " Nearly Zero Energy Building" y a diferencia de los edificios NZEB, su objetivo es llegar a cubrir la demanda energética del edificio en un porcentaje muy elevado mediante la generación de energía a partir de fuentes renovables. Por lo tanto, el balance energético de los edificios nZEB no es nulo, ya que el edificio necesitaría más energía que la generada por las fuentes renovables para llegar a cubrir su demanda energética. Con tal de cubrirla, el edificio obtiene la energía restante a través de la conexión a la red eléctrica.

La diferenciación principal es que los edificios NZEB tienen un balance energético nulo, donde el mismo edificio genera toda su demanda mientras que los edificios nZEB no llegan a cubrir al 100% su demanda energética y deben obtener la restante de la red eléctrica.

La definición nZEB es también más realista que la definición de NZEB ya que, para cubrir completamente con la demanda energética de la vivienda, los sistemas renovables deberían estar sobredimensionados.

### **3.1.4. Requisitos de los edificios nZEB**

Adicionalmente a la definición expresada anteriormente, en el anexo 1 de la Directiva [3] se encuentra redactado el "Marco general común del cálculo de la eficiencia energética de los edificios". Donde se establecen los siguientes puntos para cumplir con el concepto nZEB:

1. En el primer punto se indica cómo determinar la eficiencia energética de un edificio. Se parte de la cantidad, calculada o real, de la energía que consume el edificio anualmente para llegar a cubrir sus necesidades energéticas. Por necesidades energéticas se entienden las distintas necesidades ligadas a su utilización normal, reflejando la energía necesaria destinada a la calefacción, refrigeración y ACS.
2. Es necesario que la eficiencia energética del edificio incluya los siguientes indicadores: un indicador de eficiencia energética y un indicador numérico del consumo de energía primaria, los cuáles pueden ser basados en los factores de energía primaria por el suministrador de energía. Se pueden basar en medias anuales ponderadas, nacionales o regionales o en un valor general para la generación *in situ*. Es imprescindible que la metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios tenga en cuenta las normas europeas y se ajuste a la legislación correspondiente de la UE.
3. Es necesario que la metodología tenga en cuenta los siguientes aspectos:
  - a. Características térmicas del edificio como la capacidad térmica o el aislamiento, entre otras.
  - b. La instalación de calefacción, ACS y refrigeración.
  - c. Ventilación natural y mecánica.
  - d. Instalación de la iluminación.
  - e. Diseño, emplazamiento y orientación del edificio, incluidas las condiciones climáticas exteriores.
  - f. Instalaciones solares pasivas y protección solar.
  - g. Condiciones ambientales interiores.
  - h. Cargas internas.
4. También se debe tener en cuenta la incidencia positiva de:
  - a. Las condiciones de exposición al sol, sistemas solares activos u otros sistemas.
  - b. Electricidad producida por cogeneración.
  - c. Sistemas urbanos o centrales de calefacción y refrigeración.
  - d. Iluminación natural.
5. Se deberán clasificar los edificios en diversas categorías como podría ser viviendas unifamiliares, bloque de edificios, oficinas, hospitales, restaurantes, etc...

Otro requisito a tener en cuenta es el nivel de rentabilidad, que se encuentra estipulado en el punto 1 del artículo 4 de la Directiva [3]:

- “Los Estados miembros tomarán las medidas necesarias para garantizar que se establezcan unos requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios o unidades de este con el fin de alcanzar niveles óptimos de rentabilidad ...”.

Referente a la definición de nivel óptimo, esta se encuentra en la misma Directiva y su definición es la siguiente:

- El nivel óptimo de rentabilidad es el nivel de eficiencia energética que conlleve el coste más bajo durante el ciclo de vida útil estimada, cuando:
  - El coste más bajo venga determinado teniendo en cuenta los costes de inversión relacionados con la energía, los de mantenimiento y funcionamiento, y los de eliminación si proceden.
  - El ciclo de vida útil estimada venga determinado por cada Estado miembro. Se trata del ciclo de vida útil estimado restante de un edificio en el que los requisitos de eficiencia energética se determinan para el edificio en su conjunto, o de uno de sus elementos.
- El nivel óptimo de rentabilidad se situará en el rango de niveles de rendimiento en los que el balance coste-beneficio calculado durante el ciclo de vida útil estimada es positivo.

#### **3.1.4.1. Principios básicos nZEB**

Existen tres principios básicos, los cuales abordan las tres principales razones y objetivos para regular el sector de la construcción: reducción de la demanda energética, el uso de energía renovable y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas. Los principios sugeridos y los enfoques para implementarlos se describen a continuación [9]:

##### **I. Primer principio nZEB: Demanda energética**

Se debe establecer un límite claro en el flujo de energía según la operación del edificio para definir la calidad y la demanda energética del edificio, siguiendo unas pautas establecidas para tratar correctamente estos valores.

**Corolario:** Para definir este límite se recomienda a los Estados Miembros seguir el camino:

- Referente al límite superior, el cual correspondería a la máxima demanda de energía permitida, puede ser definido por la demanda de energía que se desarrolla para diferentes tipos de construcción a partir de la aplicación del principio de optimización del coste según el artículo 5 de la EPBD [3].
- Referente al límite inferior, está establecido por la tecnología disponible más desarrollada y habitual que se encuentre en el mercado.

**Estrategia de implementación:** Este límite debe ser la energía que necesita el edificio. Por ejemplo: la suma del calor útil, frío y electricidad necesarios para la refrigeración, calefacción, ACS, iluminación... También debe incluir las pérdidas de distribución y almacenamiento que se producen dentro del edificio. Adicionalmente se puede incluir el consumo de los electrodomésticos y equipos eléctricos como también de otros sistemas (por ejemplo: ascensores, iluminación de emergencia, etc.).

## II. Segundo principio nZEB: Uso de energías renovables

Se debe establecer un límite claro en el flujo de energía según la operación del edificio para calcular o medir la fracción de energías renovables, siguiendo unas pautas establecidas para tratar correctamente estos valores.

**Estrategia de implementación:** El límite podría ser la suma de la energía necesaria y las pérdidas del sistema. Es decir, el total de energía entregada al edificio proveniente de sistemas de suministro activo, así como energía auxiliar para bombas, ventiladores, etc.

La porción elegible de renovables es toda aquella energía entregada al edificio producida a partir de fuentes renovables *in situ*, alrededor del edificio o fuera de él.

**Corolario:** La fracción de energías renovables en los edificios nZEB se considera muy elevado, aun así, se tiene como objetivo aumentarla paso a paso entre el 2021 y el 2050. El punto de partida debe escogerse en base a las mejores prácticas nZEB que sirvan como puntos de referencia por lo que hace a la relación ciclo de vida-coste.

## III. Tercer principio nZEB: Energía primaria y emisiones CO<sub>2</sub>

Se debe establecer un límite claro en el flujo de energía según la operación del edificio donde la demanda de energía primaria y las emisiones de CO<sub>2</sub> se calculen siguiendo unas pautas establecidas para tratar correctamente estos valores.

**Estrategia de implementación:** Debe ser la demanda de energía primaria y las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al total de energía suministrada al edificio a partir de sistemas de suministro activo.

Si se produce más energía proveniente de fuentes renovables que la necesaria durante el balance de un período, deben estar disponibles reglas claras a nivel nacional sobre cómo tratar la exportación neta.

**Corolario:** Con tal de cumplir con los objetivos establecidos por la UE, es recomendable que las emisiones de CO<sub>2</sub> relativas a la demanda energética de los edificios sea menor a 3 kg CO<sub>2</sub>/ (m<sup>2</sup> a).

La EPBD promueve el uso de la energía primaria como indicador para el rendimiento energético de los edificios. Aun así, los edificios deben seguir también los objetivos a largo plazo de la UE para 2050. Definitivamente la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> están muy relacionadas con la reducción del consumo energético como también con la des carbonización energética. Consecuentemente, la introducción de un indicador sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> (el cual está enlazado con el indicador de la energía primaria para la demanda energética) es el único camino viable para asegurar coherencia y consistencia en los objetivos a largo plazo energéticos y ambientales de la UE.

### **3.1.5. Ejemplos de edificios nZEB**

Actualmente ya se pueden encontrar edificios nZEB en diferentes países de la Unión Europea. La construcción de los edificios nZEB abarca un sector muy amplio, ya que se pueden encontrar edificios de energía casi nula dentro del sector residencial, comercial e industrial. Además de la diferenciación en el sector de uso de los edificios, también se debe tener en cuenta las diferencias referentes al clima y a la legislación propia de cada país. Los edificios nZEB existentes han sido construidos en zonas distintas con climas distintos, es decir, se ha demostrado que los edificios nZEB pueden construirse en climas fríos, moderados o bien cálidos. A continuación, se muestra un mapa de Europa con un conjunto de edificios nZEB existentes, los diferentes colores indican la zona climática a la que pertenecen:

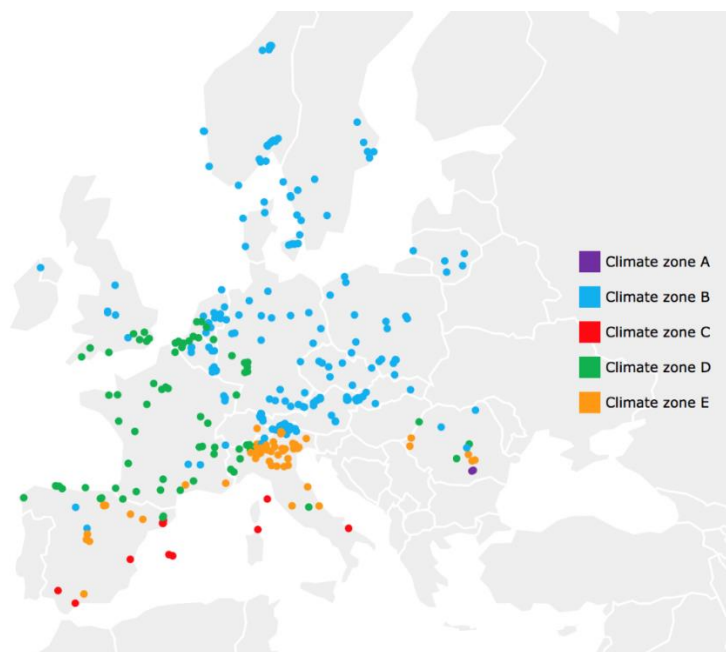


Figura 4. Mapa Europeo edificios nZEB según zona climática. Fuente: [15].

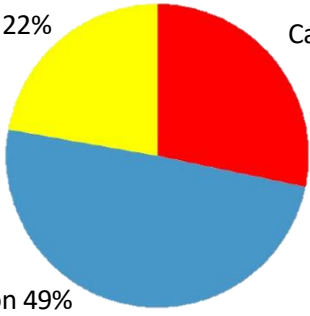
Seguidamente se muestran ejemplos específicos de edificios nZEB en Europa. Se han seleccionado tres ejemplos de tres países con distintos climas entre ellos, uno está situado en un clima cálido, otro en clima frío y templado. Los tres ejemplos comparten que son edificios residenciales unifamiliares [16]:



Figura 5. Fotografías de los tres ejemplos de edificios nZEB. Fuente: [16].

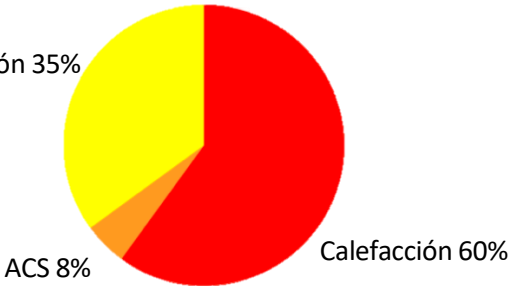
1. Ejemplo edificio nZEB en clima cálido:

Tabla 3. Tabla con las especificaciones del edificio nZEB “Mosta House of Character”. Fuente: [16].

<b>“Mosta House of Character”, Mosta, Malta</b>	
<b>Tipo de construcción:</b>	Edificio renovado
<b>Tipo de edificio:</b>	Residencial
<b>Área:</b>	209 m <sup>2</sup>
<b>Valores U:</b>	Pared: 1,57 W/m <sup>2</sup> ·K    Ventana: 3,00 W/m <sup>2</sup> ·K Techo: 0,25 W/m <sup>2</sup> ·K
<b>Sistemas disponibles:</b>	Bomba de calor reversible para calefacción y refrigeración. Producción de ACS a través de: colector de agua solar de placa plana con un área de 4 m <sup>2</sup> y con un tanque de agua con capacidad de 250 litros.
<b>Tecnologías de energía renovable incluidas</b>	Colector de agua solar que cumple con los requisitos de demanda anuales de ACS.
<b>Energía final total utilizada</b>	Calefacción: 3,25 kWh/m <sup>2</sup> ·a Refrigeración: 5,62 kWh/m <sup>2</sup> ·a Iluminación: 2,57 kWh/m <sup>2</sup> ·a
<b>Uso de energía por sectores</b>	 <p>Iluminación 22%    Calefacción 28% Refrigeración 49%</p>
<b>Ratio de energía renovable</b>	49% del total de la energía final
<b>Uso de energía primaria</b>	Por electricidad: 39,47 kWh/m <sup>2</sup> ·a
<b>Mejora comparada con los requerimientos nacionales</b>	Mejora de un 50%.

## 2. Ejemplo edificio nZEB en clima temperado:

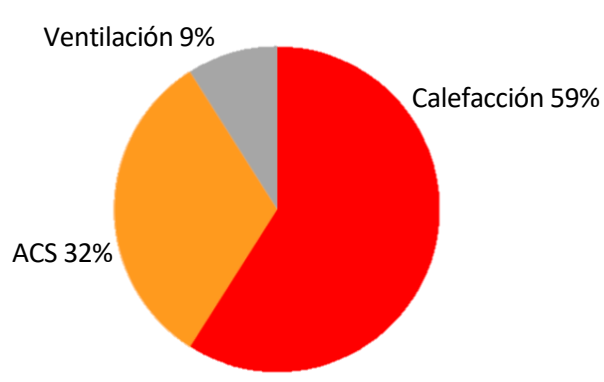
Tabla 4. Tabla con las especificaciones del edificio nZEB "ECOsil". Fuente: [16].

<b>"ECOsil", Trino, Italia</b>	
<b>Tipo de construcción:</b>	Edificio de nueva construcción
<b>Tipo de edificio:</b>	Residencial
<b>Área:</b>	185 m <sup>2</sup>
<b>Valores U:</b>	Pared: 0,18 W/m <sup>2</sup> ·K    Ventana: 1,00 W/m <sup>2</sup> ·K Techo: 0,18 W/m <sup>2</sup> ·K    Techo de sótano: 0,21 W/m <sup>2</sup> ·K
<b>Sistemas disponibles:</b>	Caldera de gas natural para la calefacción da apoyo también al ACS. Obtención de ACS a través de 4 colectores solares. Paredes radiantes. Ventilación mecánica instalada. Paneles fotovoltaicos.
<b>Tecnologías de energía renovable incluidas</b>	Colector de agua solar que cubre un 96% de la necesidad de ACS y paneles fotovoltaicos.
<b>Energía final utilizada</b>	Calefacción: 25,81 kWh/m <sup>2</sup> ·a ACS: 2,05 kWh/m <sup>2</sup> ·a Iluminación: 14,88 kWh/m <sup>2</sup> ·a
<b>Uso de energía</b>	 <p>Iluminación 35%</p> <p>ACS 8%</p> <p>Calefacción 60%</p>
<b>Ratio de energía renovable</b>	67% del total de la energía final
<b>Uso de energía primaria</b>	23 kWh/m <sup>2</sup> ·a
<b>Mejora comparada con los requerimientos nacionales</b>	Mejora de un 80%.



### 3. Ejemplo edificio nZEB clima frío

*Tabla 5. Tabla con las especificaciones del edificio nZEB "Single-family house in Vallda Heberg passive house residential area". Fuente: [16].*

<i>"Single-family house in Vallda Heberg passive house residential area", Vallda, Sweden</i>									
<b>Tipo de construcción:</b>	Edificio de nueva construcción								
<b>Tipo de edificio:</b>	Residencial								
<b>Área:</b>	140 m <sup>2</sup>								
<b>Valores U:</b>	Pared: 0,106 W/m <sup>2</sup> ·K      Ventana: 0,70 W/m <sup>2</sup> ·K Techo: 0,066 W/m <sup>2</sup> ·K      Techo de sótano: 0,08 W/m <sup>2</sup> ·K								
<b>Sistemas disponibles:</b>	Sistema de ventilación y 4 colectores solares para ACS.								
<b>Tecnologías de energía renovable incluidas</b>	La energía usada para la calefacción y el ACS se consigue el 100% con energía renovable gracias al sistema de calefacción del distrito local, el 40% viene de colectores térmicos solares y el 60% de una caldera de pellets.								
<b>Energía final utilizada</b>	Calefacción: 33,0 kWh/m <sup>2</sup> ·a ACS: 17,6 kWh/m <sup>2</sup> ·a Ventilación: 5,1 kWh/m <sup>2</sup> ·a								
<b>Uso de energía por sectores</b>	 <p>A pie chart illustrating the distribution of final energy use across three sectors. The largest portion is for heating (Calefacción) at 59%, represented by a red slice. The second largest is for domestic hot water (ACS) at 32%, represented by an orange slice. The smallest is for ventilation (Ventilación) at 9%, represented by a grey slice.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sector</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calefacción</td> <td>59%</td> </tr> <tr> <td>ACS</td> <td>32%</td> </tr> <tr> <td>Ventilación</td> <td>9%</td> </tr> </tbody> </table>	Sector	Percentage	Calefacción	59%	ACS	32%	Ventilación	9%
Sector	Percentage								
Calefacción	59%								
ACS	32%								
Ventilación	9%								
<b>Ratio de contribución energía renovable</b>	El 100% del total de la energía final								
<b>Uso de energía primaria</b>	30,4 kWh/m <sup>2</sup> ·a								
<b>Mejora comparada con los requerimientos nacionales</b>	Mejora de un 51%.								

### 3.1.6. Recopilación de proyectos europeos sobre la construcción de edificios nZEB

A continuación, se muestra una recopilación de algunos de los proyectos europeos relacionados con el concepto nZEB. Se han escogido los siguientes ya que son los que abarcan más información y herramientas sobre la construcción de este tipo de edificios.

#### 3.1.6.1. Proyecto ZEBRA

El proyecto ZEBRA2020 tiene como objetivo principal crear un observatorio para edificios nZEB basado en estudios de mercado y varias herramientas útiles. Los socios del proyecto utilizaron sistemáticamente los datos disponibles y consultaron también el conocimiento del sector de la construcción europeo, así como del sector académico (como, por ejemplo, la consulta de estudios de mejores prácticas y escenarios de nZEB hasta 2030). La información recolectada fue estructurada y analizada para derivar en recomendaciones y estrategias. ZEBRA2020 tiene por objetivo ayudar a los responsables políticos a nivel europeo, las agencias de energía y las diversas partes interesadas en la industria europea de la construcción a desarrollar estrategias y marcos para acelerar la captación del mercado nZEB para 2020 [17].

Del proyecto se derivaron los siguientes resultados, los cuales están disponibles:

- Escenarios para la transición de mercado hacia nZEB.
- Datos que permiten rastrear la transición hacia los edificios nZEB para los Estados Miembros.
- Comparación entre países de las barreras, los impulsores y las mejores prácticas centradas en aspectos económicos.
- Recomendaciones para acelerar la transición del mercado nZEB.
- Un rastreador del mercado nZEB que incluye bases de datos detalladas.

#### 3.1.6.2. Proyecto AIDA

El proyecto AIDA (Affirmative Integrated Energy Design Action) pretende acelerar la entrada al mercado de los edificios NZEB, contribuyendo con la promoción de la construcción edificios energéticamente eficientes y uso de fuentes de energía renovables. Los beneficiarios clave de este proyecto son los Ayuntamientos y autoridades públicas y los profesionales de la construcción. AIDA ofrece una acción adaptada a estos colectivos, incluyendo visitas técnicas a edificios innovadores, buenas prácticas, herramientas de apoyo para la inclusión de acciones promotoras de NZEB y apoyo técnico en la elaboración de pliegos de condiciones de edificios NZEB [18].

### **3.1.6.3. Proyecto ZEMeds**

El proyecto ZEMeds está cofinanciado por la UE y tiene por objetivo involucrar y comprometer a dos públicos: a los responsables de las políticas escolares y a los diseñadores de los edificios, brindando asistencia técnica y financiera para la renovación de las escuelas en climas mediterráneos para que cumplan los requisitos de un edificio nZEB [19].

### **3.1.6.4. Proyecto RePublic\_ZEB**

RePublic\_ZEB es un proyecto financiado por la Comisión Europea que reúne a socios de los países del sudeste de Europa para desarrollar y promover herramientas nZEB. El objetivo central del proyecto es definir medidas con coste óptimo para remodelar el parque inmobiliario público hacia criterios nZEB.

Para lograrlo se realiza una valoración del estado actual del stock de edificios públicos de cada país a través de: una evaluación de consumos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub>, definición de edificios de referencia y a través de un desarrollo de un marco común y una metodología armonizada para la definición de un concepto nZEB para edificios públicos [20].

## **3.2. Definición de los indicadores para evaluar el comportamiento dinámico del edificio**

Como introducción, un indicador se define como una serie de datos o información que se utiliza para valorar las características deseadas de un concepto en concreto y poder determinar su evolución futura.

Existen distintos marcos oficiales o pautas establecidas para el cálculo de indicadores. Para este proyecto es necesario el uso de indicadores relacionados con la energía y el confort, estos se van a definir mediante Level(s). En el caso de la necesidad de indicadores no contemplados dentro del marco Level(s), se obtendrán por otras vías.

### **3.2.1. Enfoque del ciclo de vida**

Para poder hacer más preciso y exacto el valor de energía que soporta un edificio, se tiene que analizar no solo el consumo en la fase de uso, sino en su ciclo de vida completo, para ello la alternativa más implementada es el análisis de ciclo de vida, *Live Cycle Analysis* (LCA). En base a esto, se halla la economía circular, concepto muy asentado en el sector de la edificación. La metodología de análisis de ciclo de vida del edificio permite cuantificar diferentes indicadores en las diferentes fases de un proyecto.



El análisis consiste en recopilar, simular, medir y analizar una serie de datos referentes a distintos parámetros:

- Energía y agua: consumo, emisiones y costes.
- Elementos y materiales de construcción: cantidades, emisiones, costes y la vida útil.
- Ambientes interiores: seguimiento sistema de ventilación, del aire en interiores y de la situación térmica en interiores.

Además de la evaluación del comportamiento mediante estos parámetros, también se pueden crear futuros escenarios de ciclo de vida. Se puede trabajar con diferentes niveles de especialización y exhaustividad como ya se ha comentado anteriormente. En cada uno de estos niveles se requiere un mayor grado de competencia y conocimientos en términos de gestión y manipulación de datos.

### 3.2.1.1. Economía circular

La economía circular es un modelo económico de producción y consumo donde los materiales, productos y servicios son diseñados para durar y volver a entrar en la cadena de valor; un sistema donde se eliminan los tóxicos y se usan energías renovables. Es una economía que permite ser regenerativa por diseño, es decir, no solo conservar el capital natural del que se dispone, sino incluso regenerarlo. En la Figura 7 se puede observar como sería el ciclo de vida de un producto según la economía circular.



Figura 7. Esquema de la economía circular. Fuente: [22].

Se basa en tres principios clave, cada uno de los cuales aborda diferentes retos en términos de recursos a los que han de hacer frente las economías industriales [23].

- Principio 1: Preservar y mejorar el capital natural controlando reservas finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables. Desmaterializando la utilidad.

- Principio 2: Optimizar los rendimientos de los recursos distribuyendo productos, componentes y materias con su utilidad máxima en todo momento tanto en ciclos técnicos<sup>1</sup> como biológicos<sup>2</sup>. Aumentar la vida útil del producto.
- Principio 3: Promover la eficacia de los sistemas detectando y eliminando del diseño los factores externos negativos.

### 3.2.2. Level(s)

#### 3.2.2.1. ¿Qué es el marco Level(s)?

Level(s) es un marco de utilización voluntario dentro de la Comisión Europea de Medioambiente, para mejorar la sostenibilidad de los edificios e impulsar la demanda del mercado para una mejor edificación. Proporciona un enfoque común para la UE con los estándares existentes, para la evaluación del desempeño ambiental en el entorno construido [24].

Ofrece un enfoque holístico para un conjunto de indicadores y parámetros comunes para medir el comportamiento medioambiental de los edificios durante todo su ciclo de vida, además también proporciona indicadores vinculados a la salud y el bienestar, el coste del ciclo de vida y posibles futuros riesgos.

Es un sistema de código abierto y de libre disposición que abarca tanto edificios de nueva construcción como ya existentes que necesitan una reforma importante<sup>3</sup> ya sean edificios residenciales o de oficinas. El objetivo no es crear un sistema independiente de certificación ni fijar parámetros de referencia, sino que es determinar una terminología común para tratar el tema de la sostenibilidad en los edificios que pueda utilizarse a escala europea y disponga de un amplio potencial.

---

<sup>1</sup> El ciclo técnico consiste en la gestión de reservas de materias finitas. El uso sustituye al consumo. Las materias técnicas se recuperan y la mayor parte se restauran.

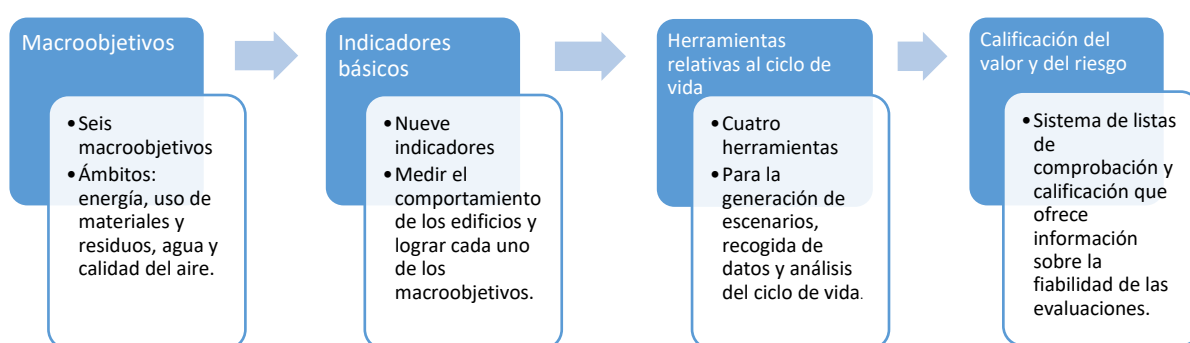
<sup>2</sup> El ciclo biológico comprende los flujos de materias renovables. El consumo únicamente se produce en el ciclo biológico. Los nutrientes renovables (biológicos) se regeneran en su mayor parte.

<sup>3</sup> Se entiende por «reforma importante» aquella reforma en la que: 1) el coste total de la renovación referente a la envolvente del edificio o a sus instalaciones técnicas es superior al 25 % del valor del edificio, excluido el valor del terreno en el que está construido; o 2) se renueva más del 25 % de la superficie de la envolvente del edificio.

Teniendo así la clara finalidad de mejorar la eficiencia en el uso de recursos en el sector de la edificación incorporando a los edificios el concepto de economía circular; esto es, un sistema económico regenerativo en el que se minimiza el consumo de recursos materiales y energéticos. Específicamente, abarca todo el ciclo de vida teniendo en cuenta el LCA y el LCC.

Los desafíos a los que se enfrenta este marco es la capacidad de crear una mayor conciencia sobre el medioambiente, encontrar el valor de complejidad para un correcto balance, desarrollar herramientas digitales de soporte y poder encontrar clientes para la inversión. Todo esto, se puede conseguir mediante iniciativas políticas adecuadas y una gran difusión a nivel global.

Este marco se estructura de la siguiente manera de acuerdo con [25]:



*Figura 8. Esquema simplificado de la estructura del marco Level(s). Fuente: propia.*

Las posibles áreas de evaluación para los macroobjetivos están principalmente centradas en la energía, la utilización del agua, la utilización de materiales, el confort, la resiliencia del cambio climático y el coste del ciclo de vida.

Desde un punto de vista más general, las herramientas y métodos utilizados para cada perspectiva son los siguientes:

Medioambiental	Social	Economico
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulaciones</li> <li>• Cálculos y mediciones</li> <li>• Evaluación del ciclo de vida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesos de dialogo</li> <li>• Co-creación</li> <li>• Utilización de evaluaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Financiación</li> <li>• Modelos empresariales</li> <li>• Coste del ciclo de vida</li> </ul>

*Figura 9. Resumen de las perspectivas y las herramientas y métodos utilizados. Fuente: propia.*

En definitiva, la principal idea para la utilización de los Level(s) es diseñar y construir edificios sostenibles utilizando menos energía, agua y materiales, para poder construir y reformar edificios con un mejor comportamiento medioambiental y de confort, y a su vez que la gestión sea más económica

y mantengan un mayor valor económico a largo plazo. Todo esto a partir de un lenguaje común que evalúe todo el ciclo de vida.

### 3.2.2.2. Escenarios Level(s): Niveles de evaluación del comportamiento del edificio

Este sistema es adaptable y puede integrarse en los diferentes sistemas de evaluación y certificación manteniendo su carácter particular.

Cada indicador puede utilizarse para distintos tipos de evaluación, para eso se han establecido tres escenarios diferentes según la precisión y fiabilidad de evaluación. Empezando por un punto de partida más sencillo, nivel común (L1) que conforma la base de los métodos de cálculo, pasando por un nivel comparativo (L2), hasta un nivel de comportamiento optimizado (L3) para tener más flexibilidad y poder cumplir requisitos más específicos. En la siguiente figura se muestra una visión gráfica general de los escenarios comentados.



Figura 10. Comparación resumen de los niveles de evaluación. Fuente: [25].

### 3.2.2.3. Macroobjetivos e indicadores asociados

Dentro del marco de Level(s), cada indicador está diseñado para vincular el comportamiento ambiental de los edificios con las prioridades de ahorro de recursos a nivel europeo establecidos en los macroobjetivos.

Los seis macroobjetivos se dividen en tres áreas temáticas [25]:



- Comportamiento medioambiental durante el ciclo de vida → Macroobjetivos 1,2 y 3.
- Salud, confort y bienestar → Macroobjetivo 4.
- Coste, valor y riesgo → Macroobjetivos 5 y 6.

### **Macroobjetivo 1: Emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de un edificio. Huella de carbono.**

Reducir al mínimo las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida, de la cuna a la cuna, en cuanto a la energía en la fase de uso y a las emisiones integradas en los materiales de construcción.

**1.1 Indicador de la eficiencia energética en la fase de uso:** se basa en la energía consumida por un edificio durante la fase de uso, prestando atención tanto a la eficiencia de la envolvente como la eficiencia energética primaria de sus sistemas. Este forma parte de la definición de edificio de consumo de energía casi nulo comentado previamente en el apartado 3.1.1 basado en [3].

Unidad de medida: [kWh/m<sup>2</sup>/año].

Metodología: se evalúa el comportamiento para la superficie de suelo y el tamaño del edificio utilizados como referencia. Los métodos de cálculo se establecen en las normas EN 15603 [26] y EN 52000-1 [27].

**1.1.1 Subindicador de la energía primaria total ( $C_{ep,total}$ ):** Es un indicador principal basado en el cálculo de energía primaria. Sirve para simular la demanda de energía necesaria para generar la electricidad, calefacción y refrigeración utilizada en el edificio, dividida entre fuentes de energía renovables o no renovables ( $C_{ep,ren}$ ).

**1.1.2 Subindicador de la demanda energética suministrada:** Es un indicador de apoyo basado en el cálculo o medición de la demanda de energía suministrada al edificio para satisfacer los usos internos. Contabilizada por los suministros de calefacción, agua caliente, refrigeración, ventilación e iluminación.

**1.2 Indicador del potencial de calentamiento global durante el ciclo de vida, *Global Warming Potentials* (GWP):** corresponde a la contribución de un edificio al calentamiento global durante su ciclo de vida, conocido como la evaluación de la huella de carbono.

Unidad de medida: [CO<sub>2</sub>eq. /m<sup>2</sup>/año] para cada fase del ciclo de vida.

Metodología: medir la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) correspondientes a todo el ciclo de vida, desde la producción y suministro de materiales hasta

la eliminación y reciclado al final de la vida útil. Las principales normas de referencia para el indicador son ISO 14040/44, EN 15804 y EN 15978.

## **Macroobjetivo 2: Ciclos de vida de los materiales circulares y que utilizan eficientemente los recursos. Uso eficiente de recursos naturales.**

Optimizar el diseño del edificio para alcanzar un flujo sencillo y circular, mejorar la eficiencia y poder utilizar los materiales durante más tiempo y reducir los impactos ambientales.

### **2.1 Herramientas relativas al ciclo de vida**

**2.1.1 Inventario de materiales en el edificio:** realizar un inventario de todos los materiales y sus cantidades.

Unidad de medida: [kg].

Metodología: Una vez elaborada la lista de todos los materiales e identificado las cantidades y composiciones de cada elemento, se categorizan de acuerdo con los cuatro tipos de materiales (metálicos, minerales no metálicos, de energía fósil y basados en biomasa) definidos por Eurostat [28].

**2.1.2 Escenarios sobre la vida útil, la adaptabilidad y la deconstrucción del edificio:** se basa en estimar la vida útil del edificio y sus elementos, evaluar la adaptabilidad de los cambios futuros del mercado y estudiar el potencial de recuperación, reutilización y reciclaje.

Unidad de medida: cada nivel de evaluación varía en función del nivel de detalle. Evaluación del LCA cualitativa, semicualitativa o cuantitativa.

Metodología: se seleccionan tres escenarios para crear un escenario futuro, teniendo en cuenta los flujos de entrada (materiales utilizados) y los flujos de salida (residuos de construcción y demolición):

- Planificación de la duración global de la vida útil del diseño y de los principales elementos de construcción.
- Cómo un diseño puede facilitar a la futura adaptabilidad en los cambios de las necesidades de los ocupantes y en la situación del mercado.
- Potencial para recuperar, reutilizar y reciclar los principales elementos de construcción.

**2.1.3 Análisis del ciclo de vida, *Life Cycle Analysis* (LCA):** herramienta global empleada para analizar e identificar el comportamiento general de un edificio y los materiales utilizados con relación a los posibles múltiples impactos ambientales causados en las diferentes fases del ciclo de vida.

Metodología: establecer unas categorías e indicadores para describir el uso de los recursos empleados. La norma de referencia para llevar a cabo un LCA es la EN 15978, en esta se recogen las principales categorías para analizar los impactos ambientales en los que se centra la política ambiental europea.

**2.2 Indicador de los residuos de construcción y demolición:** en momentos específicos del ciclo de vida de un edificio se generan residuos, considerados como flujos de salida llevados a cabo sobre el terreno y sobre el exterior. Recopilar datos sobre el total de residuos eliminados y desviados diferenciando entre tipos de residuos.

Las fases del ciclo de vida están establecidas en las normas EN 16627 y ISO 15686-5. En este indicador se tendrán en cuenta las siguientes:

- Parte del ciclo de vida del edificio anterior: deconstrucción y demolición total o parcial para su reutilización o construcción de otro edificio.
- Fases A3/5 del ciclo de vida: construcción de un nuevo edificio sobre el terreno o de partes y elementos en otro lugar.
- Fases C1/3, D del ciclo de vida: deconstrucción y demolición del edificio en el futuro finalizada su vida útil.

Unidad de medida: [kg/m<sup>2</sup> /fase del ciclo de vida]

Metodología: Para cada una de las fases del ciclo de vida establecidas se informará de los flujos de salida considerados en residuos eliminados, componentes para reutilización, materiales para reciclaje y materiales para otras operaciones de recuperación. Además de los flujos de entrada, es decir todos los materiales listos para la construcción.

### **Macroobjetivo 3: Uso y gestión eficiente de los recursos hídricos.**

El objetivo es minimizar el consumo de agua en el edificio, haciendo hincapié a la reutilización del agua en edificios situados en zonas de estrés hídrico continuado o estacional.

Según [29], [30] se define el índice de explotación del agua, *Water Exploitation Index* (WEI) como el porcentaje del total de la captación neta de agua dulce extraída comparado al total de recursos de agua renovable disponibles durante un período determinado. Se establecen tres niveles de escasez de agua:

- WEI+ < 20% → región sin estrés hídrico
- WEI+ < 20% - 40% → región con estrés hídrico
- WEI+ < 40% → región con un elevado estrés hídrico

**3.1 Indicador del consumo de agua en la fase de uso:** estimar o medir el consumo de agua de los sanitarios y los electrodomésticos que consumen agua. Además, es posible la estimación o medida de la sustitución de agua potable por fuentes alternativas.

En las zonas de estrés hídrico es más importante la medición de este indicador con el índice de consumo de agua potable suministrada y el índice de sustitución del suministro de agua potable por fuentes alternativas, como aguas pluviales o reutilizadas.

Unidad de medida: [m<sup>3</sup>/ocupante/año] durante la fase de uso.

Metodología: a partir de los factores de uso y datos de comportamiento para los sanitarios y los electrodomésticos se procede a un método de cálculo que complementa a los principales sistemas de evaluación de edificios verdes de la UE, definidos en parte en [26]. Para la regulación del consumo de agua en los edificios se quieren una serie de herramientas y normativas presentes en [31].

#### **Macroobjetivo 4: Espacios saludables y confortables.**

La prioridad es diseñar edificios confortables, productivos y saludables. Siguiendo las pautas de protección de la salud pública para los riesgos causados por la contaminación del aire interior [32].

**4.1 Indicador de la calidad del aire en interiores durante la fase de uso:** Informar sobre los niveles de contaminantes específicos y si existen riesgos.

Metodología: la evaluación se establece en tres fases del proyecto en construcción, en el diseño, la finalización antes de la ocupación y finalmente después de la ocupación. Se evalúan los parámetros establecidos dentro de la superficie de suelo útil acondicionado.

**4.1.1 Subindicador de la evaluación de parámetros de la buena calidad del aire en interiores:** los parámetros correspondientes son el índice de ventilación (índice de renovación del aire), los niveles de CO<sub>2</sub> y la humedad relativa. Estos tres parámetros se identifican en las normas EN 15251 [33] y EN 16978.

Unidad de medida:

- Ventilación (flujo de aire): [l/s/m<sup>2</sup>]
- CO<sub>2</sub>: [ppm: partes por millón]
- Humedad del aire: proporción porcentual entre la presión de vapor parcial y de equilibrio.

**4.1.2 Subindicador de lista de contaminantes:** se hace una evaluación de las concentraciones de contaminantes emitidos por productos interiores y los introducidos por el aire exterior. Se miden los posibles peligros que puede comportar el aire interior para la

salud. Las fuentes de emisiones más directas están relacionadas con los productos de construcción, materiales de acondicionamiento y productos asociados a la renovación de inmuebles, como pueden ser revestimientos de pared o aislamiento interior. Para identificar las emisiones de los productos de construcción se emplea la norma CEN/TS 16516.

Unidad de medida: depende del alcance del indicador.

**4.2 Indicador del tiempo fuera del rango de confort:** capacidad del edificio para mantener las condiciones de bienestar térmico durante las estaciones extremas de calefacción y refrigeración según la norma UNE-EN ISO 7730 [34].

Unos factores importantes en edificios con consumo bajo de energía, como serían los edificios nZEB son el control del bienestar térmico y el control del sobrecalentamiento [3].

Unidad de medida: porcentaje de tiempo fuera del rango de durante las estaciones extremo de calefacción y refrigeración.

Metodología: a través de una variable sustitutiva se mide la proporción del año en la que los ocupantes experimentan disconfort térmico. Se deben tener en cuenta las pérdidas y ganancias de calor que afectan a la situación de bienestar y la energía de calefacción y refrigeración necesaria para mantener dichas condiciones.

Posteriormente puede compararse el porcentaje estimado de insatisfacción (PPD) con los resultados de una encuesta con los ocupantes.

**4.3 Indicadores potenciales:** orientación sobre la evaluación del comportamiento de otros aspectos para tener en cuenta. En un futuro se podrían integrar definitivamente en los indicadores los aspectos de iluminación y confort visual, y el comportamiento acústico de la estructura del edificio y la protección contra el ruido.

**4.3.1 Aspecto futuro: iluminación y confort visual:** estudio de la iluminación de un edificio centrándose en la disponibilidad y la calidad de luz. Según la directiva 2010/31/UE [3] se establece que se debe tener en cuenta la incidencia positiva de luz natural y que un aspecto imprescindible para el cálculo de la eficiencia energética tiene que ver con la iluminación.

**4.3.2 Aspecto futuro: acústica y protección contra el ruido:** un aspecto importante para la satisfacción y confort de los habitantes es no sufrir alteraciones por el ruido. Dependiendo de la naturaleza del edificio hay posibilidad de sufrir diferentes tipos molestias. La Directiva 2002/49/CE [35], establece las condiciones y requisitos para la evaluación y gestión del ruido ambiental.

## **Macroobjetivo 5: Adaptación y resiliencia al cambio climático.**

Preparación de los edificios para poder hacer frente al cambio climático en un futuro con el fin de proteger la salud y el bienestar de los ocupantes y minimizar los riesgos del valor del inmueble.

### **5.1 Herramientas relativas al ciclo de vida**

**5.1.1 Escenarios de previsión de futuras condiciones climáticas:** se describen futuros eventos del ciclo de vida de un edificio para los que pueden analizarse cambios y que pueden ejercer una influencia significativa sobre el comportamiento del edificio. El objetivo es diseñar edificios más resistentes al cambio climático e identificar medidas que dispongan de potencial para minimizar futuros riesgos.

Metodología: El escenario se centra en la modelización y simulación en condiciones meteorológicas para el 2030 y 2050 para la cantidad de tiempo que el edificio esté fuera del rango de confort. El primer escenario se centra en los extremos de temperatura ya que el sobrecalentamiento es un elemento importante en la Estrategia de adaptación al cambio climático de la EU. Como consecuencia, se calcula el consumo de energía primaria de refrigeración adicional para poder mantener una temperatura adecuada interior adecuada.

**5.2 Indicadores potenciales:** orientación sobre la evaluación del comportamiento de otros aspectos para tener en cuenta para la elaboración de futuros escenarios posibles.

**5.2.1 Incremento de riesgos en condiciones meteorológicas adversas y fenómenos extremos:** estudiar la durabilidad y la resistencia de los elementos de construcción bajo estas condiciones.

**5.2.2 Incremento del riesgo de inundaciones:** estudiar la capacidad de los sistemas de desagüe y la resiliencia de las estructuras.

## **Macroobjetivo 6: Optimización del coste del ciclo de vida y del valor del inmueble.**

Calcular el LCC para poder mejorar el comportamiento medioambiental ya que repercute directamente de manera positiva al valor del edificio. A partir de unos costes iniciales de inversión más elevados se puede reducir los costes de funcionamiento, incrementar el valor residual y mejorar la productividad, a la vez de reducir el riesgo.

**6.1 Indicador del coste del ciclo de vida, *Life Cost Cycle* (LCC):** se establecen todos los costes del ciclo de vida del edificio (costes construcción, funcionamiento, mantenimiento, rehabilitación y eliminación). Es preferible hacer el estudio en todas las fases del ciclo de vida, pero como mínimo se debe evaluar la fase de uso B6 con relación a los costes de energía y agua, y la fase de construcción A1-3/B2-4 con relación a los costes de construcción, mantenimiento, reparación y

sustitución. Tal como ya se ha especificado anteriormente las fases del ciclo de vida están establecidas en las normas EN 16627 y ISO 15686-5.

Unidad de medida: (€/m<sup>2</sup> suelo útil/año). Coste neto existente por cada fase del ciclo.

Metodología: se aplica el método de coste-óptimo el cual está previamente explicado en el punto apartado 3.1.4 En resumen, este indicador se basa en evaluar e informar sobre los costes de cada fase del ciclo de vida establecidos, ya sea un enfoque simplificado centrado en un número reducido de fases o un enfoque global de todo el ciclo de vida. Dependiendo de la fase del proyecto, el método de empleo del indicador variará. Se puede hacer una división entre los costes de los servicios a largo plazo donde se incluyen los costes reales de agua y energía, y los costes de adquisición y mantenimiento a largo plazo. Para estos últimos se describe un plan de costes para una vida de servicio de 30 años incluyendo los costes iniciales, este plan se divide en acciones rutinarias, periódicas y de grandes reparaciones.

**6.2 Indicador sobre la creación de valor y los factores de riesgo:** para un comportamiento más sostenible del edificio se dispone de un mayor potencial para aumentar el valor financiero y exponer los riesgos y responsabilidades posibles en un futuro. Es un método que facilita información sobre la fiabilidad de los datos y los métodos de cálculo en la tasación del valor de un inmueble. Garantizando que se integra la sostenibilidad en los procesos de calificación o, aun así, haciendo posible una mayor influencia para el valor y el riesgo.

Unidad de medida: diferentes calificaciones a poder tener en cuenta, estas facilitan una puntuación semicuantitativa, cuanto mayor es la puntuación, mayor será la fiabilidad de la evaluación del comportamiento. Pueden asignarse puntuaciones de fiabilidad para cada uno de los indicadores del marco Level(s).

Metodología: Pueden asignarse puntuaciones de fiabilidad para cada uno de los indicadores del marco Level(s). A lo largo de este marco se facilitan baremos de calificación de la fiabilidad para cada indicador. Mayoritariamente las calificaciones se realizarán en la fase de diseño y construcción. Se estructura en dos pasos bien definidos:

- Paso 1: identificar los indicadores con un marco común que se refieran a factores de valoración según *The European Group of Valuer's Associations* (TEGoVA) [10] y que han sido incorporados a la valoración del edificio o a la calificación de riesgo.
- Paso 2: llevar a cabo una calificación simplificada de los datos e hipótesis de partida empleados para cada indicador identificado.

### 3.2.3. Confort

En primer lugar, el confort son las condiciones materiales que proporcionan bienestar a un individuo. Dentro del confort ambiental, se diferencian cuatro categorías: lumínico, térmico, acústico y de calidad

del aire. Dentro del confort se especifica el confort térmico, concepto en el que se centra este apartado. Especialmente la Norma UNE-EN ISO 7730 [34] determina las pautas para el análisis del bienestar térmico.

Desde un punto de vista general, el confort térmico es un estado subjetivo del individuo, por otro lado, la sensación térmica es su traducción objetiva que está relacionada con el equilibrio térmico global del cuerpo.

En consecuencia, el confort térmico se define como aquella condición en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico. Dependiendo de los parámetros físicos del entorno (ambiental y arquitectónico), y a su vez de las características del individuo (factores personales y socioculturales). Por lo contrario, la incomodidad térmica es el calentamiento o enfriamiento local indeseado del cuerpo.

En la norma RITE [36] no se especifica el confort térmico, pero en el Artículo 11 se incluye el término de calidad térmica del ambiente definido como: “las instalaciones térmicas permitirán mantener los parámetros que definen el ambiente térmico dentro de un intervalo de valores determinados con el fin de mantener unas condiciones ambientales confortables para los usuarios de los edificios”.

Los factores personales tales como, ropa (grado de aislamiento), tiempo de permanencia (aclimatación), salud y color de la piel, historial lumínico, visual y acústico, sexo, edad, peso (constitución corporal), son los más utilizados para el análisis del confort, ya que es más fácil su medición. Existen fórmulas y formas de medición que han permitido parametrizar estos factores con el objetivo de evaluar las condiciones del lugar en función de la persona y de la tarea que realiza.

Hablar entonces de confort significa eliminar las posibles molestias e incomodidades generadas por distintos agentes que intervienen en el equilibrio de la persona. Existen personas que son más sensibles que otras, al igual que existen actividades que requieren de distintos niveles para estar dentro de los límites del confort. No obstante, es posible delimitar ciertos rangos o patrones de niveles de confort producto de estudios realizados por diversas Instituciones Internacionales a través de las estadísticas, que se aceptan en general como valores admisibles para las distintas actividades humanas.

Para la predicción de la sensación térmica general y el grado de incomodidad, existen dos indicadores que vienen detallados en la Norma UNE-EN ISO 7730 [34] y en el ASHRAE Standard 55-2010 [37].

- Voto medio estimado (PMV): cálculo para la estimación de la sensación térmica global.
- Porcentaje estimado de insatisfechos (PPD): cálculo para la predicción cuantitativa del porcentaje de personas que experimentan incomodidad o insatisfacción térmica.



### 3.2.3.1. Confort térmico: Índices PMV y PPD

Tal y como se ha comentado, el confort térmico está relacionado con el equilibrio térmico global del cuerpo humano. Dicho equilibrio se obtiene cuando la producción interna de calor del cuerpo es igual a su pérdida hacia el ambiente. La condición es un estado neutro en el cual el cuerpo no necesita tomar ninguna acción en particular para mantener su propio balance térmico.

La temperatura neutra de la piel está alrededor de 33°C y las sensaciones de calor o frío son producidas cuando la temperatura ambiente está arriba o abajo de ésta. Los parámetros más importantes que intervienen en el intercambio de calor entre el cuerpo humano y el ambiente y que se tendrán en cuenta en este estudio son los siguientes [34]:

- Parámetros ambientales:
  - Temperatura seca del aire ( $T_a$ ).
  - Presión parcial del vapor de agua, que puede ser determinada en base a la humedad relativa (RH), y la temperatura del aire.
  - La velocidad relativa del aire ( $V_a$ ).
  - La temperatura radiante media ( $T_{rm}$ ) de los cerramientos y superficies: se calcula a partir de los valores medidos de la temperatura seca, la temperatura de globo ( $T_g$ ) y la velocidad relativa del aire.
- Parámetros del cuerpo humano:

Se basa en el calor generado que es igual a la diferencia entre la actividad metabólica,  $M$ , y el trabajo exterior,  $W$ . La tasa metabólica para diferentes tipos de actividades se mide en la unidad denominada [met], equivalente a  $[W/m^2]$ , corresponde a los siguientes valores de la Tabla 7:

Tabla 7. Valor de la tasa metabólica para distintos tipos de actividad. Fuente: [34].

Actividad	met
Reposo, tendido	0,8
Reposo, sentado	1,0
Actividad sedentaria (oficinas, domicilio, escuela, laboratorio)	1,2
Actividad ligera de pie (de compras, laboratorio, industria ligera)	1,6
Actividad media de pie (dependiente de comercio, tareas domésticas, trabajo con máquinas)	2,0

- **Parámetros de la vestimenta:**

Las características térmicas del vestido se miden en la unidad denominada [clo] (del inglés clothing, vestido), equivalente a una resistencia térmica ( $I_{cl}$ ) [ $m^2 K/W$ ].

Para los tipos más usuales de vestido se corresponden los siguientes valores de la resistencia en [clo] se observan en la Tabla 8:

Tabla 8. Valor de la resistencia clo para distintos tipos de vestimenta. Fuente: [34].

Vestimenta	clo
<b>Desnudo</b>	0
<b>Ligero</b> (atuendo típico de verano comprendiendo ropa interior, pantalones ligeros, camiseta corta, calcetines y zapatos)	0,5
<b>Medio</b> (prendas de ropa interior, pantalones, camisa, chaqueta, calcetines y zapatos)	1,0
<b>Pesado</b> (Prendas de ropa interior de manga, pantalones, camisa, chaleco, chaqueta, chaquetón, calcetines y zapatos)	1,5

El PMV es un índice que refleja la opinión de un grupo numeroso de personas sobre su sensación térmica, valorada a partir de una escala con siete niveles según la Tabla 9:

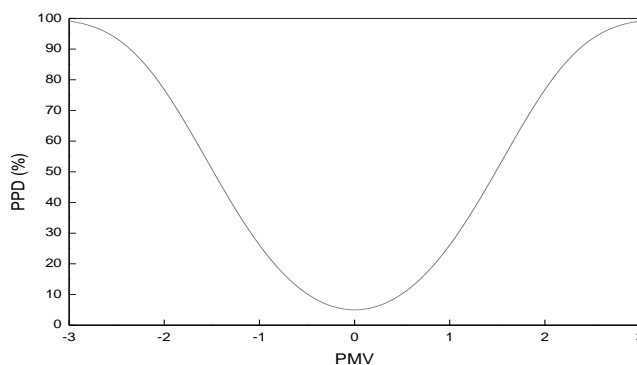
Tabla 9. Escala de sensación térmica de siete niveles. Fuente: [34].

Escala	Sensación térmica
<b>+3</b>	Muy caluroso
<b>+2</b>	Caluroso
<b>+1</b>	Ligeramente caluroso
<b>0</b>	Neutralidad térmica
<b>-1</b>	Ligeramente fresco
<b>-2</b>	Fresco
<b>-3</b>	Frío

El índice PMV es el valor medio de los votos emitido por un grupo de personas expuestas al mismo ambiente. Sin embargo, el ambiente térmico no es juzgado de forma satisfactoria por todos los ocupantes de un mismo ambiente, incluso estén vestidos de la misma forma y desarrollen la misma

actividad. Por este motivo se define el índice PPD, el cual establece una previsión cuantitativa del número de personas insatisfechas con el ambiente térmico.

El índice PPD está relacionado con el índice PMV mediante una ecuación, que se refleja en el gráfico de la Figura 11:



*Figura 11. Gráfico PPD en función del PMV. Fuente: [34].*

Estos parámetros se pueden clasificar en tres categorías de ambiente térmico, en función de la exigencia y requisitos de la zona en cuestión. Para cada categoría se definen un máximo de personas insatisfechas, por lo que los parámetros de confort deben situarse dentro del rango de exigencia.

En la Tabla 10 se definen las categorías de ambiente térmico:

*Tabla 10. Categorías de ambiente térmico. Fuente: [34].*

Categoría	PPD %	PMV	Explicación
I	< 6	$-0,2 < PMV < 0,2$	Alto nivel de expectativa, recomendado para espacios ocupados por personas débiles y sensibles con requisitos especiales.
II	< 10	$-0,5 < PMV < 0,5$	Nivel normal de expectativa; debería utilizarse para edificios nuevos y renovados.
III	< 15	$-0,7 < PMV < 0,7$	Aceptables y moderado nivel de expectativa; puede utilizarse en edificios existentes.
IV	>16	$PMV < -0,7$ y $PMV > 0,7$	Valores fuera de los criterios de las categorías anteriores. Esta categoría sólo debería aceptarse durante una parte limitada del año.

### 3.2.3.2. Temperatura Operativa

La temperatura operativa (o de funcionamiento) es un parámetro de confort que relaciona la temperatura del aire, la temperatura radiante media y la velocidad del aire. La temperatura operativa se define como la temperatura uniforme de un recinto radiante negro en el cual un ocupante

intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente no uniforme real. Para calcularla se utiliza la (Eq. 1):

$$(Eq. 1) \quad T_{op} = T_a \cdot A + T_{rm} \cdot B$$

Donde:

- $T_{op}$ : es la temperatura operativa.
- $T_a$ : es la temperatura del aire.
- $T_{rm}$ : es la temperatura radiante media: Por definición es la temperatura única con la cual la transferencia de calor por radiación desde o hacia una persona en un espacio cerrado sería la misma que se produce en la situación actual evaluada con las temperaturas superficiales reales teniendo en cuenta el calor emitido por radiación de los elementos del entorno
- A y B: son parámetros que dependen de la velocidad del aire ( $V_a$ ). Correspondientes a la Tabla 11.

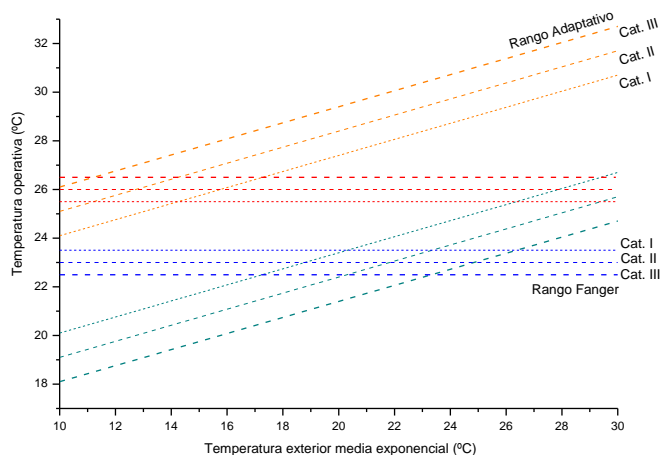
Tabla 11. Valores de A y B en función de la velocidad del aire. Fuente: [33]

	$V_a < 0,2 \text{ m/s}$	$0,2 < V_a < 0,6 \text{ m/s}$	$V_a > 0,6 \text{ m/s}$
A	0,5	0,6	0,7
B	0,5	0,4	0,3

Se establece un rango de temperaturas operativas, dentro del cual se considera un ambiente térmico satisfactorio. De igual modo que para los índices PMV i PPD, se definen cuatro categorías de confort, dependiendo de la exigencia y los requisitos de la zona en cuestión. Existen dos métodos para definir dichas categorías, en función de si el edificio dispone de sistemas de enfriamiento mecánico o no.

- Método de Fanger: en el caso de edificios enfriados mecánicamente, para establecer el rango de temperaturas de cada categoría es necesario estimar la vestimenta (invierno/verano) y el nivel de actividad física.
- Método Adaptativo: para edificios sin sistemas de enfriamiento mecánico, en los que las condiciones térmicas se regulan mediante la abertura y cerramiento manual de ventanas.

En la Figura 12 se representan los rangos de confort de las tres categorías para los dos métodos explicados anteriormente:



*Figura 12. Categorías de rango de confort según el modelo de Fanger y el Adaptativo. Fuente: [33].*

El caso de estudio corresponde a una vivienda que utiliza un sistema de refrigeración mecánico, por lo que el método de Fanger es el que se debe aplicar. De todas formas, en el análisis de los resultados, se han considerado los dos, para así poder evaluar más detalladamente el confort de los habitantes.

### **3.2.3.3. Diagrama de Givoni**

El diagrama de Givoni es un diagrama bioclimático que representa las condiciones ambientales en un diagrama psicrométrico. En el diagrama se representan las condiciones climáticas exteriores juntamente con las condiciones ambientales interiores, de tal manera que es posible identificar cómo se comporta el edificio. En el diagrama se identifican una serie de zonas que permiten evaluar si el diseño bioclimático proporciona unas condiciones de bienestar, y si no que aspectos se necesitan mejorar.

En la Figura 13 está representado el diagrama de Givoni, este se divide en 5 zonas, en función de la necesidad requerida:

- Zona de calefacción (azul)
- Zona de refrigeración y deshumidificación (rojo)
- Zona de refrigeración y humidificación (amarillo)
- Zona de confort (verde)
- Zona de confort 1m/s con ventilación natural (línea verde)

El objetivo es conseguir que todas las medidas de aire interior se encuentren dentro de la zona de confort, la cual varía en función del tipo de ventilación (natural o mecánica).

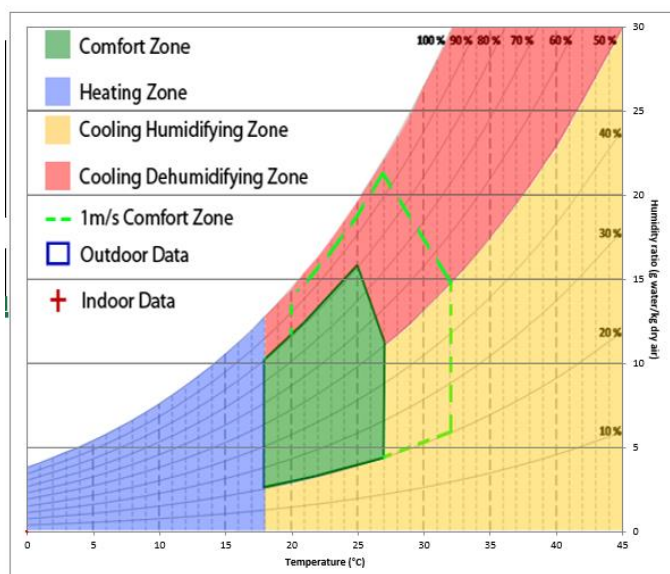


Figura 13. Ejemplo diagrama de Givoni. Fuente: Propia.

### 3.2.4. Certificación energética

La eficiencia energética es cada vez más importante en la transición energética como consecuencia del cambio climático. Es por eso, que en el sector de la vivienda se establecen una serie de normativas para evaluar la eficiencia energética y poder compararla de un edificio a otro. Para ello se dispone de la certificación energética que se basa en la obtención de un documento que indica la eficiencia energética de un edificio o una unidad de este y se determina la calificación energética mediante una etiqueta energética.

La certificación energética de los edificios es una exigencia derivada de la Directiva 2012/27/EU, y la Directiva 2010/31/UE [3] relativa a la eficiencia energética de los edificios. Estas dos directivas se transponen parcialmente al ordenamiento jurídico español a través del Real Decreto 235/2013 por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios, tanto de nueva construcción, como existentes. Posteriormente este RD es modificado por el Real Decreto 564/2017 [38]. Este procedimiento será desarrollado por el órgano competente en esta materia de la Comunidad Autónoma correspondiente, encargado también del registro de las certificaciones en su ámbito territorial, el control externo y la inspección.

En este certificado, y mediante una etiqueta de eficiencia energética, se asigna a cada edificio una Clase Energética de eficiencia, que variará desde la clase A, para los energéticamente más eficientes, a la clase G, para los menos eficientes.

Los puntos más importantes del documento son y los indicadores energéticos que se deben tener en cuenta son:

- Emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>: se miden las emisiones totales en [kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>·año] para cada uso, calefacción, refrigeración, producción de ACS e iluminación.
- Consumo de energía primaria: se miden los consumos totales en [kWh /m<sup>2</sup>·año] provenientes de fuentes renovable (térmica, fotovoltaica, geotérmica y biomasa) y de fuentes no renovables. Se mide el consumo para cada uso, calefacción, refrigeración, producción de ACS e iluminación.
- Demanda de energía: se valoran las necesidades de energía (potencia y rendimiento) para los usos de calefacción y refrigeración. Se valora el aislamiento de la envolvente térmica, transmitancia térmica (U) [W/ m<sup>2</sup>·K].
- Otros aspectos para considerar:
  - Tipo de edificación: existente o nueva
  - Uso: residencial (unifamiliar o en bloque) o comercial.
  - Zona climática: diferenciada en invierno (A, B, C, D o E) y verano (1, 2, 3 o 4).

En la Figura 14 se muestra la escala y los índices de calificación energética:

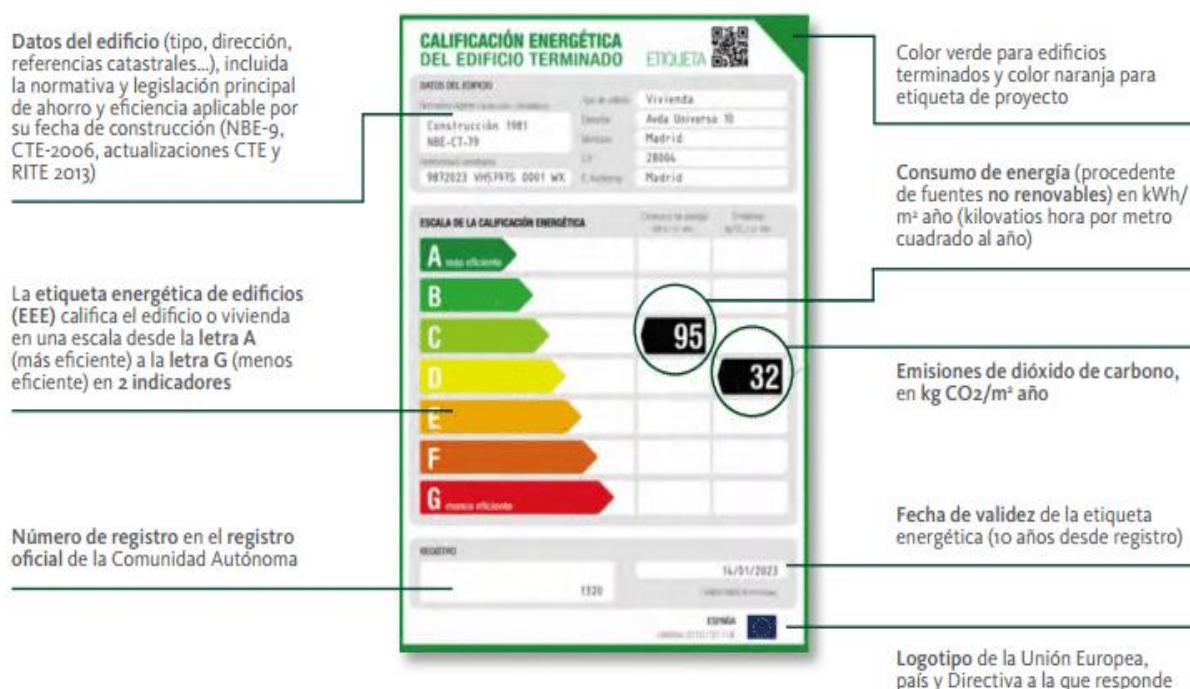


Figura 14. Ejemplo de etiqueta de calificación energética. Fuente: [38].



## 4. Metodología

### 4.1. Definición y descripción del sistema

#### 4.1.1. Características del edificio

El edificio de estudio está ubicado en Zaragoza, en una zona semiurbana cerca del centro de la ciudad, construida en el año 2015. Es una vivienda de carácter unifamiliar catalogada de bajo consumo energético y eficiente [2]. A continuación, se muestra una imagen aérea de la ubicación de la vivienda:

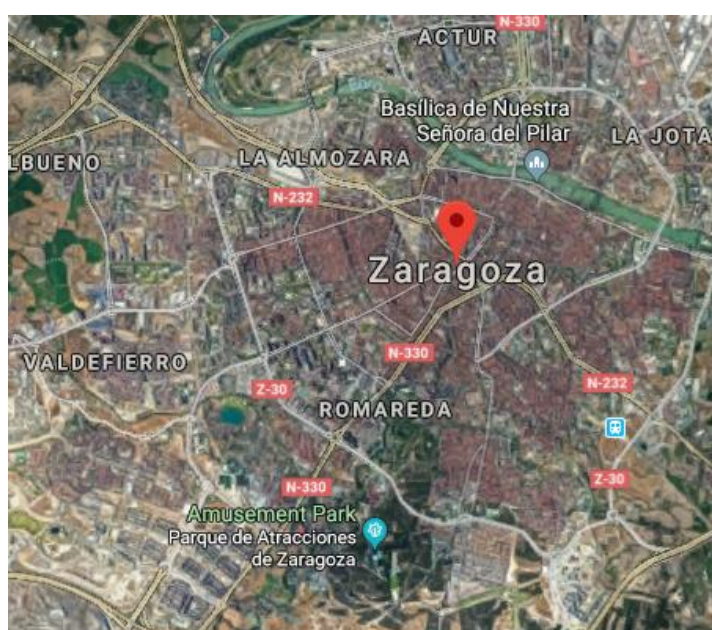


Figura 15. Vista satélite de la ciudad donde se encuentra la vivienda estudiada. Fuente: Google Maps.

La parcela donde está ubicada la vivienda dispone de 283,00 m<sup>2</sup>. La vivienda está formada por 3 plantas: el sótano, la planta baja y la primera planta. Las plantas de la vivienda cuentan con los siguientes departamentos:

- Sótano: Cuenta con una bodega, dos aseos, un trastero y una habitación pequeña destinada a las tareas domésticas del hogar. Además de estos departamentos, también cuenta con un patio inglés. La superficie útil cerrada del sótano es de 119,20 m<sup>2</sup>.
- Planta baja: Se encuentran las habitaciones principales de la vivienda como la cocina, el salón-comedor, un baño y un dormitorio. También cuenta con una piscina ubicada en el exterior. La superficie útil cerrada de la planta baja es de 71,49 m<sup>2</sup>.
- Primera planta: Cuenta con otro dormitorio y un baño. La superficie total cerrada de la primera planta es de 25,48 m<sup>2</sup>.



Se especifica únicamente la superficie útil cerrada de cada planta porque durante el estudio se tiene en cuenta la superficie habitable.

A continuación, en la Figura 16 se adjuntan imágenes de la vivienda en concreto:



*Figura 16. Imágenes de la vivienda desde el exterior. Fuente: Laura Bersabé.*

La vivienda está caracterizada de bajo consumo gracias a un diseño de construcción pasivo dónde se usó el aislamiento SATE durante su construcción. Además, durante su construcción se incluyeron protecciones solares las cuáles ayudan a reducir la demanda energética del edificio.



Figura 17. Protecciones solares de la vivienda. Fuente: Laura Bersabé.

El estudio se centra en los sistemas del hogar y no en la construcción pasiva de este. Se debe remarcar que la vivienda es considerada de bajo consumo gracias a la combinación de las soluciones utilizadas tanto pasivas como activas.

#### 4.1.2. Características del sistema de climatización y ACS

El sistema empleado en la vivienda consta de una bomba de calor, tanto para el sistema de calefacción mediante suelo radiante como el sistema de refrigeración mediante fancoils y también para el sistema de ACS. Seguidamente se van a explicar con más detalle las características de estos sistemas.

##### 4.1.2.1. Bomba de calor

El edificio cuenta con una bomba de calor tipo *inverter* aerotérmica para el suministro de calefacción, ACS y refrigeración. Este sistema permite obtener tanto refrigeración como calefacción, gracias a su funcionamiento reversible. La bomba de calor cuenta con una unidad exterior, situada fuera de la vivienda, y una unidad interior situada en el sótano. La unidad exterior de la vivienda recoge la energía del aire natural. A través de un circuito hidráulico, esa energía es absorbida y transportada hacia el circuito de climatización y agua caliente en toda la casa.

Las características de la bomba de calor se encuentran en la Tabla 12 y la Tabla 13:

Tabla 12. Especificaciones técnicas de la unidad exterior de la bomba de calor. Fuente: [39].

Marca y modelo unidad exterior			DAIKIN → ERLQ016CW1 (380-III)	
Temperatura	Ambiente	Impulsion		
Calefaccion	7	35	Capacidad nominal/ Consumo [kW]	16 / 3,72
			COP	4,3
Refrigeracion	35	7	Capacidad nominal/ Consumo [kW]	13,12 / 5,65
			EER	2,32
Refrigerante R-410A			[Kg/ TCO <sub>2eq</sub> /PCA]	3,4/7,1/2087,5
Dimensiones			Al.xAn.xF. [mm]	1345 x 900 x 320
Presión sonora			Refrig. / Calef. [dB(A)]	54/52
Compresor				SCROLL

Tabla 13. Especificaciones técnicas de la unidad interior de la bomba de calor. Fuente: [40].

Marca y modelo unidad interior (hidrokit + acumulador)		DAIKIN → EHVX16S26CA9W
Volumen acumulador	[l]	260
Dimensiones	Al.xAn.xF. [mm]	1732 x 600 x 728
Presión sonora	Refrig. / Calef. [dB(A)]	33/33
Incluye sistema de control integrado.		

#### 4.1.2.2. Suelo radiante

Como sistema emisor de calefacción se utiliza el suelo radiante para toda la vivienda. En resumen, este sistema consiste en una red de tubos que se instalan debajo del pavimento y por donde circula agua caliente. Es uno de los sistemas que emplea una temperatura de impulsión más baja, el agua fluye entre 35°C a 45°C. Por lo tanto, es uno de los mejores sistemas para proporcionar un gran confort con un ahorro energético importante y de alta eficiencia.

En el Anexo A2 se pueden encontrar los planos de la instalación del suelo radiante por cada planta y zona de la vivienda.

Concretamente la instalación de la vivienda consta con las siguientes partes:

- Tuberías:
  - Marca y modelo: ISOLTUBEX → PE-RT EVOH
  - Material: Polietileno reticulado con barrera antioxígeno (PE-RT con barrera EVOH).
  - Dimensiones, detalladas en la Tabla 14:

Tabla 14. Dimensiones tuberías del sistema de suelo radiante. Fuente: [41].

<b>Diámetro interno</b>	12,4 mm
<b>Diámetro externo</b>	16 mm
<b>Espesor</b>	1,8 mm

- Propiedades, detalladas en la Tabla 15:

Tabla 15. Propiedades tuberías del sistema de suelo radiante. Fuente: [41].

<b>Densidad</b>	0,941 g/ cm <sup>3</sup>
<b>Coefficiente de dilatación térmica lineal</b>	0,19 m/m°C
<b>Máxima temperatura de funcionamiento</b>	95 °C
<b>Conductividad térmica</b>	0,45 W/ m °K

- Placa aislante:
  - Marca y modelo: ISOLTUBEX → PLACA PLUS 32
  - Material: Poliestireno Expandido Autoextinguible (EPS-AU) de alta densidad con una cubierta superior poliformado. Este material dota al panel de un gran aislamiento térmico, evitando la pérdida de temperatura a través de ellas en dirección hacia el forjado.
  - Dimensiones, detalladas en la Tabla 16:

Tabla 16. Dimensiones placa aislante sistema suelo radiante. Fuente: [41].

<b>Dimensiones útiles</b>	1400 x 800 mm
<b>Superficie total</b>	1,12 m <sup>2</sup>
<b>Espesor total</b>	32 mm
<b>Espesor base</b>	10 mm

- Propiedades, detalladas en la Tabla 17:

*Tabla 17. Propiedades placa aislante sistema suelo radiante. Fuente: [41].*

<b>Densidad</b>	30 kg/m <sup>3</sup>
<b>Resistencia térmica</b>	0,35 m <sup>2</sup> k/W
<b>Conductividad térmica</b>	0,03 W/m <sup>2</sup> k

- Condiciones y precauciones de uso: Las placas se colocan directamente sobre el forjado limpio. Una vez colocadas las placas se instala la tubería, y se recubre de una capa de mortero con un espesor de 4 cm. por encima de la tubería. El código de designación se rige bajo la norma UNE EN 13163.
- Colectores:
  - Marca y modelo: RDZ → TOP COMPOSIT
  - Material: tecno-polímero
  - Características: Dotado de medidores de caudal sobre cada circuito, de termómetros digitales y grupos terminales de purgado de aire.
  - Características instalación: 7 Colectores para 4, 7 y 10 circuitos.
- Válvulas:
  - Marca: HONEYWELL
  - Características instalación: 7 válvulas motorizadas de 3 vías desviadoras.
- Cronotermostatos de ambiente:
  - Marca y modelo: HONEYWELL → CM907
  - Características: programables con control todo-nada digital, interruptor on/off, margen de regulación 5-35°C.

#### **4.1.2.3. Fancoil**

Como sistema emisor de refrigeración se utiliza fancoil. Brevemente, un fancoil es un dispositivo formado por un intercambiador y un ventilador. Se utiliza agua como elemento refrigerante, y el ventilador impulsa el aire haciéndolo pasar por los tubos donde circula el agua, produciéndose la termotransferencia. A continuación, el aire pasa por un filtro y sale a la estancia que se quiere climatizar, en forma de aire frío o caliente.

La instalación de fancoils se divide en 4 zonas distintas, dependiendo de a qué estancias afecta. Los modelos de los fancoils se han dimensionado según las necesidades de las zonas, para poder distinguirlos y especificar las características de cada uno de los modelos se han realizado tres tablas Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20 especificando el modelo de fancoil y las zonas donde están instalados.

En el Anexo A3 se pueden encontrar los planos de la instalación de refrigeración por cada planta y zona de la vivienda.

- Zona 1: Dormitorios Sotano-1 + Zona 4: Primera Planta. En total se cuenta con 2 unidades de fancoil del mismo modelo, una en cada zona.

Tabla 18. Especificaciones técnicas de los fancoils Zona 1 y Zona 4. Fuente: [42].

Marca	SABIANA	
Modelo	CRC-54	
Potencia de frío	[kW]	1,73
Caudal de aire	[m3/h]	472
Nivel sonoro	[dB(A)]	22-32-39
Dimensiones ancho-fondo-alto	[mm]	904 x 511 x 218

- Zona 2: Salón + Plancha Sotano-1: Cuenta con una unidad fancoil.

Tabla 19. Especificaciones técnicas del fancoil Zona 2. Fuente: [42].

Marca	SABIANA	
Modelo	CRC-74	
Potencia de frío	[kW]	2,50
Caudal de aire	[m3/h]	750
Nivel sonoro	[dB(A)]	33-42-47
Dimensiones ancho-fondo-alto	[mm]	1119 x 511 x 218

- Zona 3: Planta Baja: una unidad fancoil

Tabla 20. Especificaciones técnicas del fancoil Zona 3. Fuente: [42].

Marca	SABIANA	
Modelo	CRC-94	
Potencia de frío	[kW]	3,67
Caudal de aire	[m <sup>3</sup> /h]	1.315
Nivel sonoro	[dB(A)]	41-49-55
Dimensiones ancho-fondo-alto	[mm]	1119 x 511 x 248

Además, cada zona consta de:

- Una unidad de regulación y control:  
Control individual de cada fancoil con selector ON/OFF, velocidad ventilador y selector de temperatura. El control actuará sobre la válvula de la zona donde está instalado el fancoil.
- Una partida de distribución de aire y difusión:  
Canalización de aire desde los fancoil hasta los elementos de difusión de aire, en los circuitos de impulsión y retorno. Realizada con fibra de vidrio tipo CLIMAVER-PLUS. Consta de rejillas lineales de aire, marca TROX, modelo AH, con regulación de caudal en el lado de impulsión.
- Varios:  
Conjunto de pequeños materiales compuestos por: material de cuelgue y sujeción de fancoil, conducción de desagües de condensación hasta las bajantes más próximas y conexionado eléctrico.

#### 4.1.2.4. Control

La vivienda consta con una Centralita domótica de la marca SomosDomo y modelo SD2050B. Este sistema de automatización residencial permite ofrecer un control total de la vivienda, cubriendo funciones relativas al confort, seguridad, ahorro, comunicación y control. En concreto, el sistema incluye las siguientes aplicaciones:

- Termostato con programador horario.
- Alarma de intrusión.
- Alarma de incendios.
- Aviso de corte de suministro eléctrico.
- Grabador de mensajes.
- Automatismo para persianas.

- Cámara de seguridad domo antivandálica con infrarrojos.
- Teléfono y contestador.
- Control de iluminación.
- Simulador de presencia.
- Visualización de consumos.
- Control remoto de todas sus funciones a través del teléfono.

#### 4.1.2.5. ACS

El suministro de agua caliente sanitaria proviene de un acumulador incorporado dentro de la bomba de calor. Tal y como se ha detallado anteriormente, la bomba de calor consta de una unidad exterior, y una unidad interior, donde se encuentra el acumulador.

En la Tabla 13 se especifican las características técnicas de la unidad interior de la bomba de calor, donde constan las características físicas del acumulador.

## 4.2. Datos monitorizados

Los datos monitorizados son la humedad y la temperatura del aire tanto exterior a la vivienda como interior. Los datos se monitorizan de forma horaria a lo largo de un año.

### 4.2.1. Datos meteorológicos

Los datos exteriores corresponden a los datos obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), concretamente de la estación disponible más próxima a la ubicación de la vivienda estudiada, ubicada en Valdespartera.

Los datos meteorológicos son:

- Humedad exterior.
- Temperatura del aire exterior.

Según el CTE Zaragoza se encuentra dentro de la zona climática D3 correspondiente al tipo de clima meteorológico.

En la Figura 18 y Figura 19 se pueden observar la temperatura y humedad promedio mensual con la línea de tendencia correspondiente. Y en la Tabla 21 se indican las temperaturas y humedades relativas extremas y promedio que tienen lugar en esta localidad.



Tabla 21. Resumen de las temperaturas y humedades relativas extremas y promedio. Fuente: propia.

$T_{\max}$	39,9 °C	$HR_{\max}$	95 %
$T_{\min}$	-3,9 °C	$HR_{\min}$	6 %
$T_{\text{med}}$	16,2 °C	$HR_{\text{med}}$	54,7 %

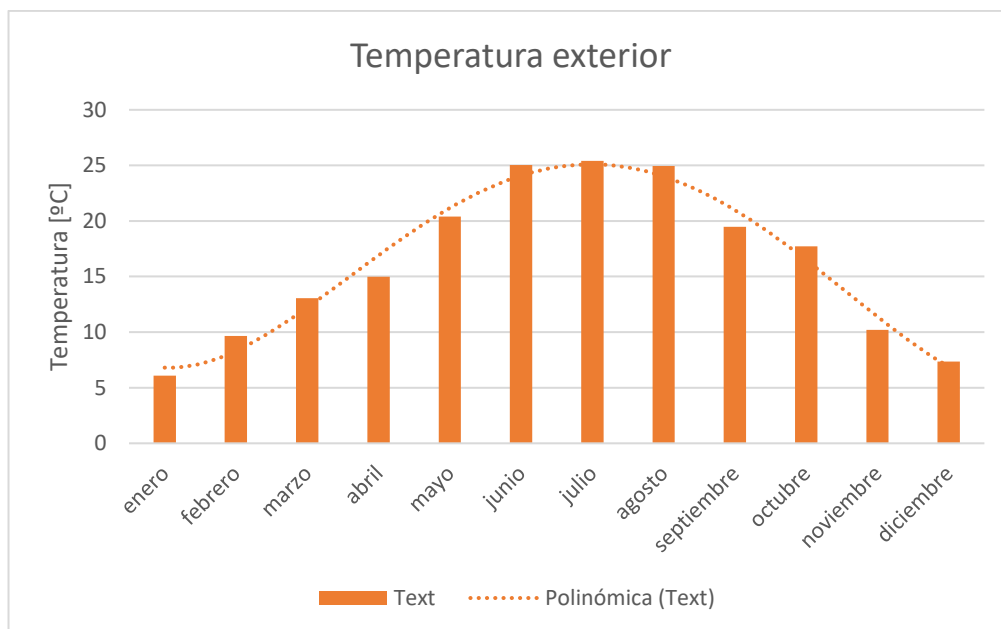


Figura 18. Gráfico de la temperatura promedio exterior de Zaragoza con su respectiva línea de tendencia. Fuente: propia.

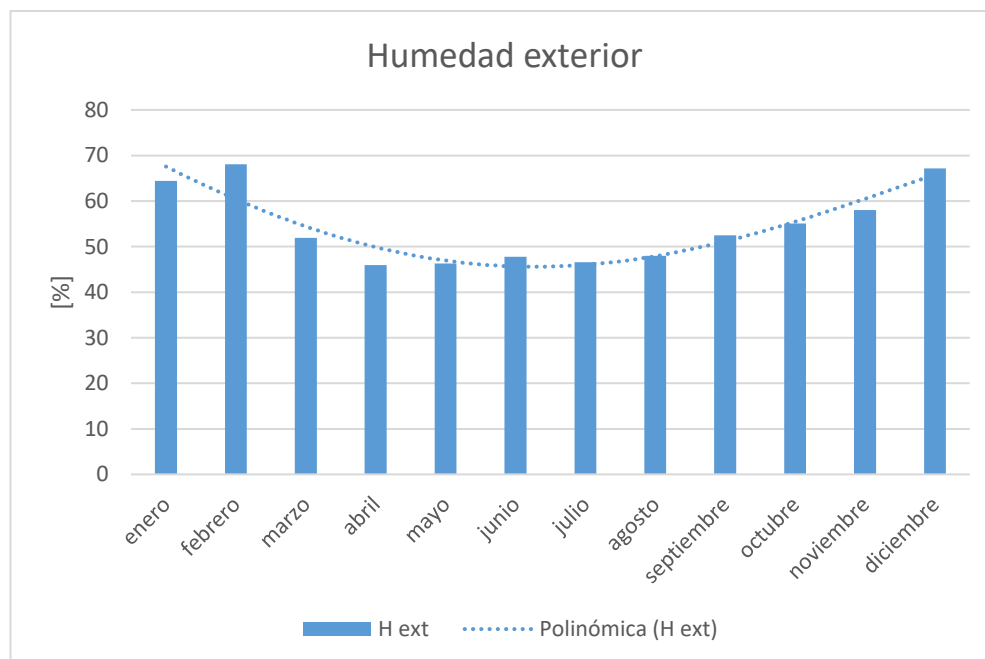


Figura 19. Gráfico de la humedad promedio exterior de Zaragoza con su respectiva línea de tendencia. Fuente: propia.

#### 4.2.2. Variables ambientales interiores

Referente a los datos interiores, estos se obtienen a partir de un sensor ubicado dentro de la misma vivienda, concretamente en el recibidor de entrada en la planta baja. El sensor es de la marca Loxone, consiste en una combinación de un sensor de temperatura y uno de humedad. Los datos han sido proporcionados por la empresa ROCKWOOL.

Las variables ambientales interiores son las siguientes:

- Humedad interior.
- Temperatura del aire interior.

*Gracias al sensor se han monitorizado los datos de humedad interior y temperatura interior de la vivienda de forma horaria durante todo un año. Debido al gran volumen de datos obtenidos, se decide representar gráficamente en la Figura 20,*

Figura 21, Figura 22 y Figura 23 los datos monitorizados de una semana tipo de cada estación extrema, siendo éstas verano e invierno. Se han graficado los valores de humedad interior con humedad exterior y de temperatura interior con temperatura exterior, para así poder comparar sus valores. Se han escogido semanas dónde la vivienda estaba ocupada y con uso de climatización.

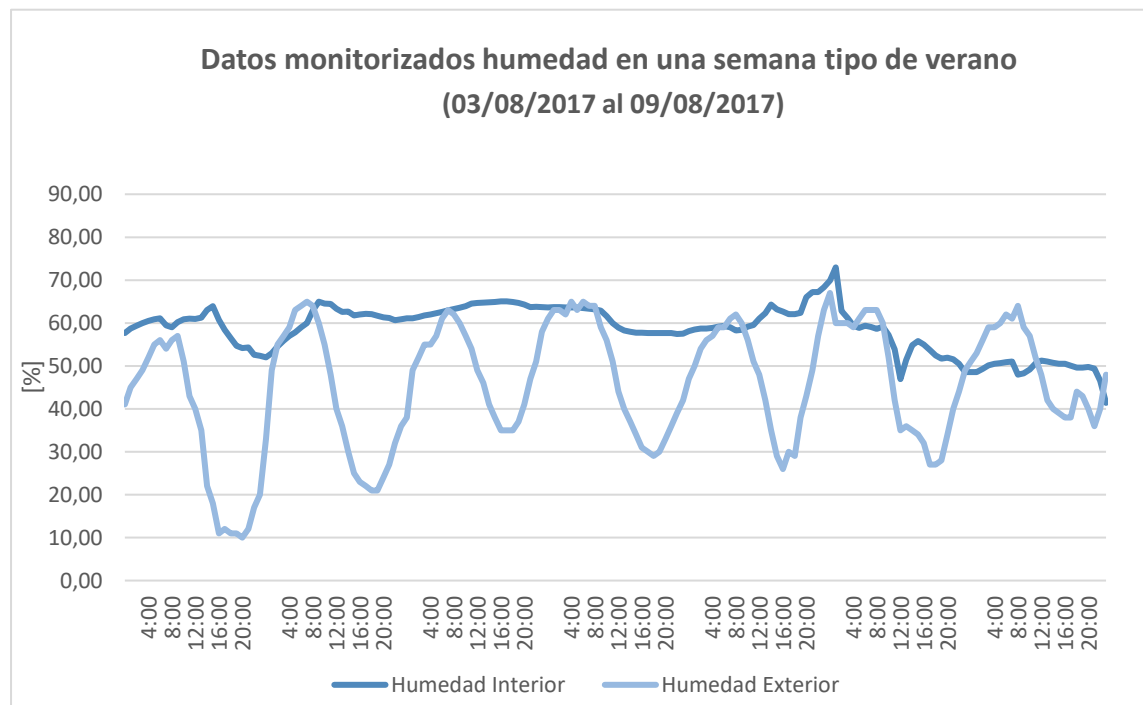


Figura 20. Gráfico con los datos monitorizados de humedad durante una semana tipo de verano. Fuente: propia.

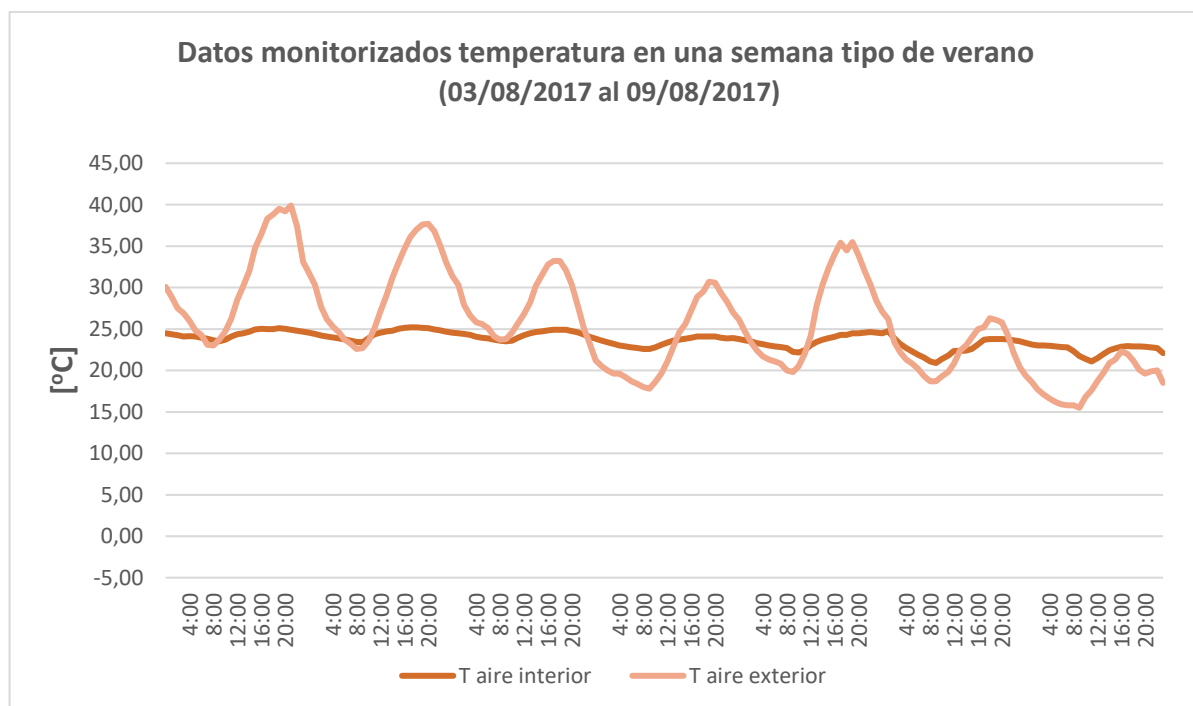


Figura 21. Gráfico con los datos monitorizados de la temperatura del aire durante una semana tipo de verano. Fuente: propia.

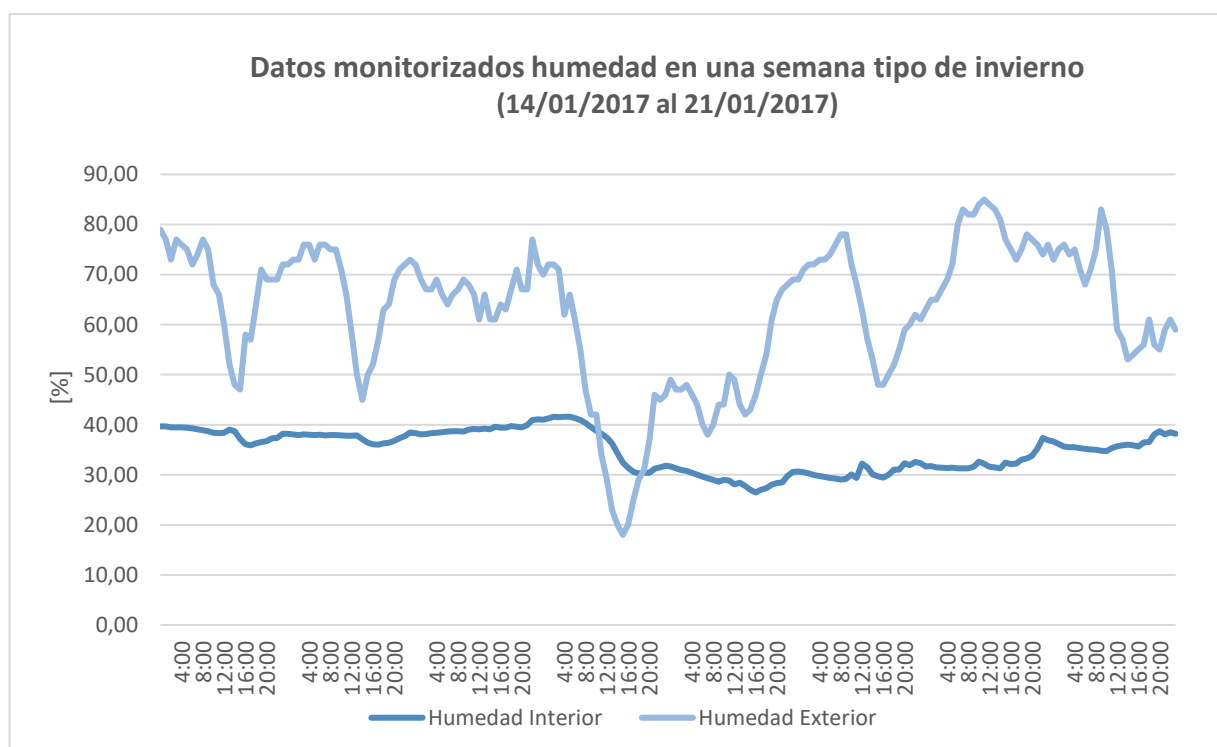


Figura 22. Gráfico con los datos monitorizados de humedad durante una semana tipo de invierno.

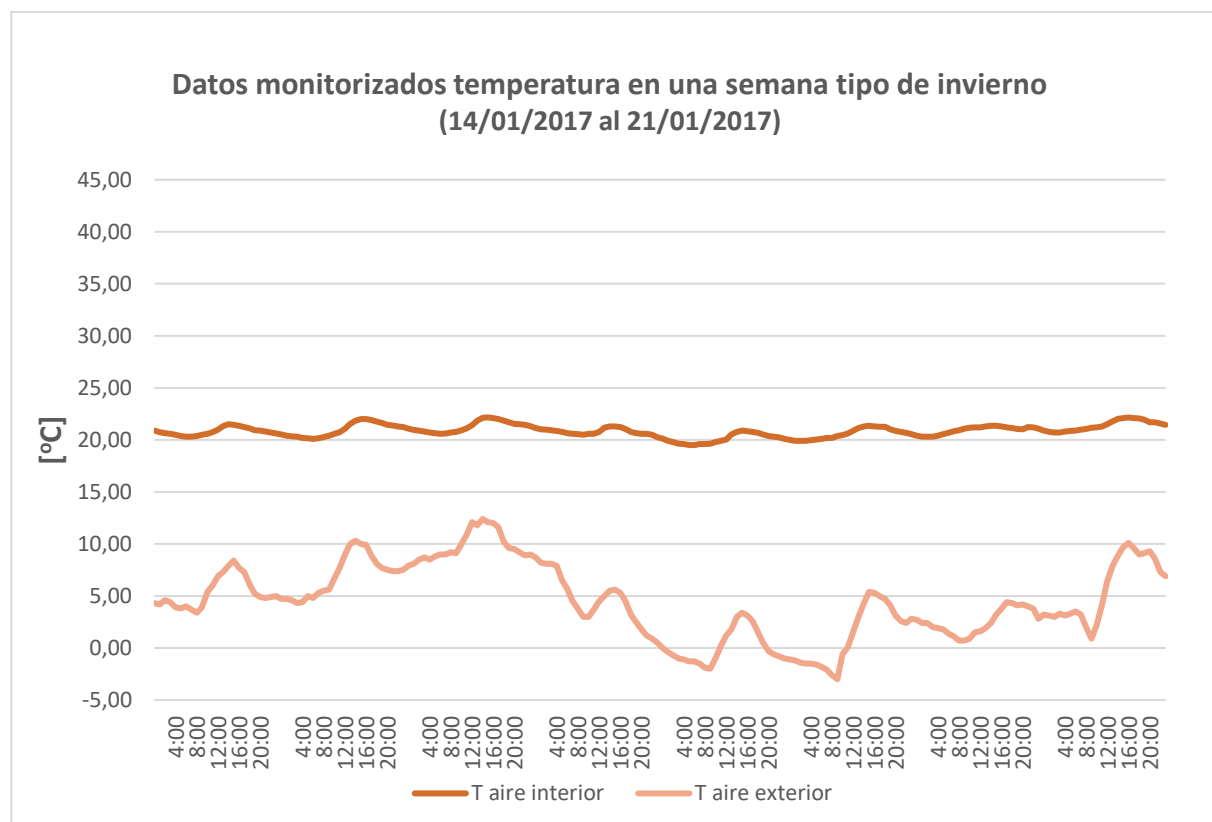


Figura 23. Gráfico con los datos monitorizados de la temperatura del aire durante una semana tipo de invierno.

### 4.2.3. Consumo energético

Para el estudio del consumo energético de la vivienda estudiada, se ha partido de datos reales de consumo obtenidos a partir de facturas. Además, se ha realizado una encuesta para poder determinar la utilización del edificio a partir del comportamiento de los usuarios.

#### 4.2.3.1. Facturas

El consumo energético anual de la vivienda se obtiene a partir de las facturas eléctricas mensuales proporcionadas por los ocupantes de la vivienda en cuestión. Se dispone de datos anuales del consumo desde enero del 2017 hasta diciembre del 2017.

El suministro de energía se obtiene a través de la compañía Som Energia. Es una cooperativa de consumo de energía verde sin ánimo de lucro. Sus principales actividades son la comercialización y producción de energía de origen renovable. Por lo tanto, esta garantiza que el volumen total de electricidad comercializada proviene 100% de fuentes renovables. Como se puede observar en la Figura 24 los gráficos están extraídos de una factura real del mes de diciembre, donde se puede comprobar el origen de la energía suministrada.



Figura 24. Gráficos comparación entre la energía venida por Som Energia con el desglose de la mezcla de tecnologías de producción nacional. Mes de diciembre 2017. Fuente: [43].

Más concretamente, el origen de la energía suministrada por Som Energia proviene de las diferentes fuentes renovables especificadas en la Figura 25. Ha sido etiquetada como comercializadora verde (100% renovable) según el procedimiento anual de certificación que realiza la CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia) de las comercializadoras. Esto ha sido posible gracias a los certificados de garantía de origen (GdO) de aquellos productores renovables que transfieren la energía a la cooperativa para su posterior distribución a los consumidores.

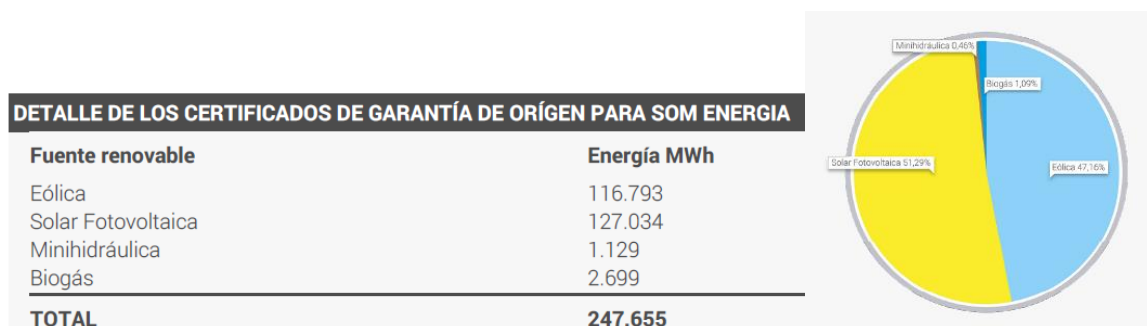


Figura 25. Clasificación de las diferentes fuentes de energía renovable que utiliza Som Energia. Mes de diciembre 2017. Fuente: [43].

Consecuentemente, el impacto medioambiental de la electricidad utilizada depende de las fuentes de generación que se utilizan para su producción. En la Figura 26 se puede observar que el impacto de las emisiones de dióxido de carbono generadas por Som Energia se encuentra en el nivel A, indicando un impacto medioambiental mínimo. Contrariamente, la media nacional se encuentra en un nivel D.

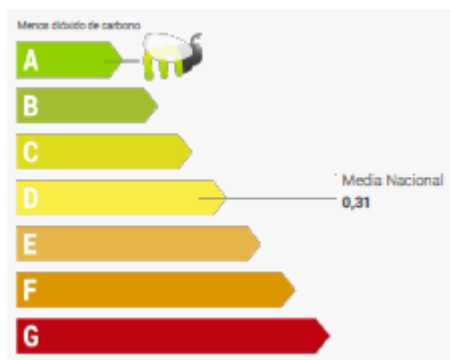


Figura 26. Escala de impacto medioambiental de las emisiones de dióxido de carbono. Mes de diciembre 2017. Fuente: [43].

Referente a la tarifa contratada, esta es 2.0 DHA para suministros de hasta 10kW de potencia contratada y con discriminación horaria, es decir, el precio de la electricidad varía según las horas. En verano las horas punta (P1) son de 13h a 23h y las valle (P2) de 23h a 13h. En invierno las horas punta (P1) son de 12h a 22h y las valle (P2) de 22h a 12h. Así, el consumo en la factura se divide en P1 y P2 dependiendo de la franja horaria. Esto permite poder ahorrar económicamente consumiendo la mayor cantidad de energía posible durante las horas valle.

#### 4.2.4. Encuesta

Se ha realizado una encuesta a los habitantes de la vivienda en cuestión, con el objetivo de determinar el perfil de uso del edificio y evaluar el confort térmico. Para abordar correctamente estos dos objetivos se divide la encuesta en dos partes, una primera que se centra en la información general del edificio para conocer concretamente la ocupación anual y la utilización de los diferentes sistemas; parte más objetiva del cuestionario. En la segunda parte se hace una evaluación sobre el confort ambiental, preguntando aspectos de confort térmico, calidad del aire, etc.; este apartado es más subjetivo.

Para la elaboración se han seleccionado aquellos aspectos que proporcionan toda la información necesaria para su posterior análisis. La encuesta ha sido contestada únicamente por uno de los ocupantes de la casa. Esta encuesta se puede consultar en el Anexo B.

##### 4.2.4.1. Perfil de uso de la vivienda

La vivienda fue construida hace tres años y está habitada desde entonces. Desde un principio es necesario conocer el núcleo familiar para entender el perfil de uso de la vivienda, el cual indica tanto la ocupación de la vivienda como el tipo de actividad.

En este caso es una familia compuesta por una pareja de edad adulta con dos hijas de menos de 15 años.

- **Ocupación de la vivienda**

Referente a la ocupación de la vivienda se ha evaluado tanto diaria como anualmente.

Para establecer la ocupación diaria se ha diferenciado entre días laborables y fines de semana, fijando diferentes franjas horarias para cada día: mañana (8h-13h), mediodía (13h-16h), tarde (16h-19h), anochecer (19h-22h) y noche (22h-8h). También se ha consultado la ocupación de la vivienda en los fines de semana. El perfil diario obtenido se muestra en la Tabla 22:

*Tabla 22. Perfil de ocupación diario obtenido. Fuente: propia.*

Franja horaria:	Número de personas:
<b>Mañana</b> (8h-13h)	1
<b>Mediodía</b> (13h-16h)	0
<b>Tarde</b> (16h-19h)	3
<b>Anochecer</b> (19h-22h)	4
<b>Noche</b> (22h-8h)	4

En referencia a la ocupación de los fines de semana, los ocupantes han indicado que permanecen un 75% de los sábados y domingos de todo el año en casa.

Para determinar la ocupación anual se ha estudiado el número de semanas que la vivienda está desocupada según la estación del año. El perfil anual obtenido se puede observar en la Tabla 23:

*Tabla 23. Perfil anual de ocupación obtenido. Fuente: propia.*

Estaciones	Número de semanas sin ocupación:
<b>Invierno</b>	1
<b>Primavera</b>	1
<b>Verano</b>	3
<b>Otoño</b>	0

- **Tipo de actividad**

Es preciso conocer qué tipo de actividad física se realiza en la casa durante las franjas horarias previamente determinadas. En la Tabla 24 se muestran marcadas con una cruz las actividades realizadas:

Tabla 24. Tipo de actividad realizada según franja horaria. Fuente: propia.

Tipo de actividad	Mañana	Mediodía	Tarde	Anochecer	Noche
<b>Reposo</b> (dormir)					
<b>Actividad sedentaria</b> (sentado, leyendo, TV, PC, etc.)					
<b>Actividad ligera</b> (de pie, tareas del hogar, cocinar etc.)					
<b>Actividad física</b> (practicar algún deporte, realizar ejercicios, etc.)					

- **Estrategias de climatización**

Para poder establecer las estrategias de climatización empleadas, en primer lugar, se deben conocer las zonas de la vivienda que incluyen un sistema de climatización. En este caso todas las zonas interiores habitables del hogar constan con climatización. La climatización de la que se dispone engloba tanto sistemas activos (calefacción y refrigeración) como pasivos (ventilación, toldos y persianas).

- Estrategia de calefacción:

El sistema de calefacción está regulado por tres termostatos ambiente con programación distribuidos uno por cada planta. La calefacción está programada para poder aprovechar las horas valle correspondientes a la tarifa contratada. Se dispone de dos temperaturas de consigna para la regulación del sistema, una diurna de 23 °C y una nocturna de 21 °C.

- Estrategia de refrigeración:

El sistema de refrigeración está regulado por un termostato ambiente con programación ubicado en el recibidor de la planta principal. Al igual que el sistema de calefacción, éste está programado para poder aprovechar las horas valle correspondientes a la tarifa contratada. Además, para poder reducir el uso de este sistema se opta por la ventilación natural (abrir ventanas, puertas, etc.). La vivienda también dispone de protecciones solares para evitar el sobrecalentamiento. Se dispone de dos temperaturas de consigna para la regulación del sistema, una diurna de 25°C y una nocturna de 23 °C.



- Estrategia de ventilación:

Tal y como se ha comentado anteriormente, se hace uso de la ventilación natural con el objetivo de reducir el aire cargado y mejorar el confort térmico tanto en verano como en invierno. También se dispone de ventilación forzada en los baños y el sótano. La vivienda se ventila siempre dos horas por la mañana tanto en invierno como en verano para reducir el aire cargado. Además, en verano se ventila ocho horas por la noche para mejorar el confort.

- Persianas y toldos:

La vivienda desde su construcción dispone de persianas y toldos para protegerse del sol y del frío. Concretamente, se usa únicamente en verano por las mañanas para evitar el sobrecalentamiento.

#### **4.2.4.2. Confort ambiental**

La evaluación del confort ambiental se ha llevado a cabo a partir del análisis de las respuestas de los ocupantes desde su punto de vista subjetivo, correspondientes a la encuesta realizada.

Se ha querido analizar tanto el confort térmico, como las causas de disconfort y finalmente el confort ambiental que perciben los habitantes de la vivienda.

- **Confort térmico**

Se ha diferenciado entre la sensación de confort térmico percibido en verano y en invierno, ya que son las estaciones más extremas del año donde las condiciones son muy dispares. En verano la sensación que perciben los ocupantes es más bien neutro y en algunas ocasiones ligeramente caluroso. En invierno la sensación percibida es neutra, concretamente se ha indicado que es ideal en toda la casa.

- **Causas de disconfort**

La encuesta incorporaba cuestiones relacionadas con tipos de disconfort tanto térmico como ambiental en los que se pueden encontrar los habitantes del edificio. Concretamente, referente al disconfort térmico se preguntaban cuestiones como: la sensación de paredes o suelo fríos/calientes dependiendo de la estación del año, corrientes de aire, diferencia de temperaturas o desequilibrios entre estancias, exceso o falta de soleamiento. Según los ocupantes, no existe ningún tipo de disconfort térmico que se produzca en la vivienda. Por otro lado, las opciones a evaluar que causan disconfort ambiental eran las siguientes: olores y contaminación exterior, aire muy húmedo durante el día o por la noche, condensaciones en ventanas. Según los ocupantes, tampoco existe ningún tipo de disconfort ambiental que se produzca en la vivienda.

- **Confort ambiental**

Para una evaluación detallada del confort ambiental de la vivienda se han realizado diferentes cuestiones referentes a la calidad del aire interior, el ruido y la iluminación. Se ha determinado un rango del 1 (insatisfactorio) al 7 (muy satisfactorio) para evaluar cada una de las preguntas.

- Calidad del aire interior:

Para la evaluación de la calidad del aire interior se ha evaluado el movimiento del aire, la humedad, la polución y el olor del aire tanto en verano como en invierno. El resultado ha sido el mismo tanto en invierno como en verano con una puntuación de 7, es decir que todos los aspectos evaluados se perciben de una manera satisfactoria.

- Ruido:

Se han diferenciado tres aspectos relacionados con el ruido percibido: el ruido causado por los vecinos, el ruido exterior y el ruido percibido en general.

El resultado obtenido para el ruido en general ha sido de 6 al igual que el ruido exterior, y el ruido causado por los vecinos con un 7 es muy satisfactorio. Es decir, la vivienda no se ve afectada por ruidos causados por los vecinos, y solo se perciben en algunos momentos de manera excepcional ruidos exteriores.

- Iluminación:

Se han diferenciado tres aspectos para determinar la iluminación que se percibe en la vivienda: la luz natural, reflejos del sol o del exterior, y la iluminación en general. Todos estos tres aspectos se perciben de una manera muy satisfactoria con un 7.

- Confort general:

En resumen, para hacer una evaluación definitiva y general, se ha preguntado la sensación de confort considerando todos los factores. Los ocupantes determinan que el confort de la vivienda es muy satisfactorio en todos los aspectos.

Finalmente, los ocupantes han especificado que el aislamiento de la vivienda con lana de roca y el sistema de aerotermia y suelo radiante son los factores que contribuyen en gran medida a poder tener un confort ambiental muy satisfactorio.

### **4.3. Selección de indicadores**

Tal y como se ha comentado anteriormente, el marco Level(s) proporciona una serie de pautas a seguir para la evaluación y determinación del comportamiento medioambiental de un edificio. Concretamente, la implementación y el cálculo de indicadores permitirá evaluar y extraer conclusiones de la vivienda en cuestión, tanto del ámbito energético como en el ámbito del confort. Se han considerado algunos de los indicadores referentes al marco Level(s) además de otros indicadores que no se apoyaban dentro de este escenario. Seguidamente se especificarán los indicadores escogidos que permitirán la evaluación de los diferentes factores energéticos y de confort.

El criterio que se ha seguido para escoger los indicadores se basa en los datos monitorizados disponibles y los datos obtenidos mediante la simulación. La realización de una simulación dinámica para la evaluación de indicadores se engloba en los niveles L2 (nivel comparativo) y L3 (nivel de optimización) de la evaluación del comportamiento del edificio comentados anteriormente en el apartado de escenario de Level(s) 3.2.2.2.

Los resultados se realizarán y se comentarán posteriormente en el capítulo 5 de este proyecto.

#### **4.3.1. Indicadores de energía**

Los indicadores calculados en esta categoría están determinados dentro del marco Level(s), específicamente en el apartado del comportamiento medioambiental durante el ciclo de vida que comprende los macroobjetivos 1,2 y 3.

Se procederá a la evaluación de los factores energéticos a partir de dos indicadores, el primero pretende calcular la eficiencia energética y el segundo evaluar el potencial del calentamiento global referente al edificio. Se especifica el número del correspondiente indicador seleccionado referente al marco Level(s). Además, a partir de estos indicadores se procederá a la determinación de la calificación energética del edificio.

El marco Level(s) abarca el estudio de todas las etapas del ciclo de vida, sin embargo, el objetivo de este proyecto es el análisis y la evaluación del estado actual de la vivienda en cuestión. Por lo que el período de estudio se limita en la fase de uso del edificio residencial.

##### **4.3.1.1. Eficiencia energética [Level(s) 1.1]**

En el marco Level(s) se especifica el cálculo de la energía consumida por un edificio durante la fase de uso mediante dos subindicadores: el cálculo de la energía primaria total (renovable y no renovable) y la demanda energética. En este estudio se procederá a la evaluación de estos dos subindicadores

teniendo en cuenta tanto los datos monitorizados como los resultados obtenidos mediante la simulación dinámica. Para así poder hacer una comparación detallada de todos los factores que influyen en el desempeño energético del edificio.

- **Energía final**

Se realiza una evaluación de la energía final de la vivienda en cuestión para poder determinar en qué rangos de consumo medio anual se encuentra y así posteriormente poder evaluar los siguientes indicadores energéticos.

- **Energía primaria**

Se trata de un cálculo de la eficiencia global del sistema de las instalaciones técnicas del edificio (sistema calefacción, ventilación, sistema de refrigeración, suministro de agua caliente sanitaria e instalación de iluminación) y los combustibles y suministradores de energía utilizados. Posteriormente, este uso energético puede degradarse en sus componentes renovables y no renovables:

- Energía primaria no renovable ( $C_{ep,nren}$ ): energía que se satisface mediante fuentes de energía no renovables, sin tener en cuenta la exportación de energía no renovable in situ (por ejemplo, la cogeneración).
- Energía primaria renovable ( $C_{ep,nren}$ ): energía del edificio que se satisface mediante fuentes renovables sin tener en cuenta la exportación de energía renovable in situ (por ejemplo, a través de paneles solares).

A partir del documento de la comisión europea que establece la evaluación del comportamiento con Level(s) [44] y el documento reconocido por el RITE de los factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria en el sector de edificios en España [45] se procederá al cálculo de este indicador.

Los factores de conversión se basan en la relación entre el consumo de combustible de las centrales de producción eléctrica y el consumo de energía eléctrica en el punto de consumo, realizando la regresión desde el consumo eléctrico final hasta el consumo de combustible, en función del tipo de central de producción eléctrica, y considerando para todos los casos las pérdidas en generación y distribución, rendimiento de cada tipo de central de producción eléctrica y las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el combustible utilizado. Las pérdidas por transporte se traducen en un decremento de la energía eléctrica generada al llevarla al punto de consumo. Los coeficientes de energía primaria están realizados para todos los combustibles que componen el mix energético.

Los factores de conversión [kWh e.p./ kWh e.f] de energía final a energía primaria total, renovable y no renovable se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Factores de conversión energía final primaria. Fuente: [45].

Electricidad convencional Nacional	( $C_{EP,total}$ ) Energía primaria total [kWh e.p/ kWh e.f.]	( $C_{ep,nren}$ ) Energía primaria no renovable [kWh e.p/ kWh e.f.]	( $C_{ep,ren}$ ) Energía primaria renovable [kWh e.p/ kWh e.f.]
	2,403	2,007	0,396

A partir de los datos de la energía consumida extraídos de las facturas eléctricas se tiene el valor de la energía final que con los factores de conversión de la Tabla 25 se pasa a calcular los valores de energía primaria total, no renovables y renovables.

Por otro lado, con los datos obtenidos del consumo energético del sistema mediante la simulación dinámica se evaluará este indicador a partir de los factores de conversión de la Tabla 25. Mediante la simulación se puede obtener el valor de energía final teniendo en cuenta el consumo eléctrico de la bomba de calor y el sistema auxiliar que consta de la bomba de circulación.

- **Demanda energética**

El cálculo de este indicador pretende contabilizar la demanda energética del edificio en forma de electricidad y calor para satisfacer todos los sistemas de uso (suministros de calefacción, refrigeración, ACS, electrodomésticos e iluminación).

Referente a los datos monitorizados no se podrá evaluar la demanda energética real de la vivienda ya que no se dispone de estos datos.

En cuanto a la simulación dinámica, se podrá evaluar la demanda térmica de cada uno de los sistemas implementados (calefacción, refrigeración y ACS). En este caso, se tendrán resultados tanto de la demanda térmica de calor (suelo radiante y ACS), como de frío (fancoils). No se podrán obtener datos de la demanda de electricidad ya sea de iluminación y de los electrodomésticos ya que no se han incorporado en la simulación. Sin embargo, se hará una estimación de esta demanda eléctrica basada en resultados de otros estudios [46] para aproximar y contabilizar la demanda de estos dos factores.

#### 4.3.1.2. Potencial calentamiento Global (GWP) [Level(s) 1.2]

El marco Level(s) pretende la evaluación de la evolución del edificio de la cuna a la cuna durante su ciclo de vida. Igual que el indicador de eficiencia energética, en este proyecto solo se hará el estudio durante el funcionamiento del edificio, ya que es muy recopilar todos los datos de inventario del ciclo de vida para todas las fases está fuera del alcance del proyecto. Los resultados se basarán en un ciclo de vida incompleto limitando el alcance en la fase de uso.

Este indicador pretende evaluar el GWP a partir del cálculo de las emisiones de dióxido de carbono equivalentes (CO<sub>2</sub> eq.). concretamente el CO<sub>2</sub> eq. es la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> que provocaría la misma intensidad radiante que una determinada cantidad emitida por un gas de efecto invernadero (GEI). Además, multiplicando por su GWP respectivo se tiene en cuenta el tiempo que se mantiene en la atmósfera.

A partir del coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub> se procederá al cálculo de la emisión de CO<sub>2</sub> eq. con relación al consumo de electricidad. El factor de conversión (tCO<sub>2</sub>/MWh) de energía final a emisiones de CO<sub>2</sub> se obtiene a partir del factor de conversión de energía final a primaria y el coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub> específico para cada combustible.

Tabla 26. Factores de emisión de CO<sub>2</sub>. Fuente: [45].

Electricidad convencional Nacional	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> /kWh e.f.]
	0,357

El GWP se calcula a lo largo de un horizonte temporal específico, normalmente de veinte o treinta años, y expresa la masa equivalente correspondiente a cada GEI. En este caso solo se evaluará el CO<sub>2</sub> eq. que corresponde con un GWP=1, según datos del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Esto es independientemente del horizonte temporal que se tenga en cuenta ya que es el gas que se utiliza como referencia y que perdura mucho tiempo en el sistema climático.

Como se ha indicado anteriormente este indicador se calculará tanto para los datos monitorizados como para los resultados de la simulación. En cuanto a los datos monitorizados, se partirá de la energía final extraída de las facturas para obtener así el valor del factor de emisión de CO<sub>2</sub>.

Igual que el indicador de energía primaria, se tratarán los resultados de la simulación referentes al consumo eléctrico de la bomba de calor y el sistema auxiliar que consta de la bomba de circulación.

#### 4.3.1.3. Certificación energética

A continuación, se van a mostrar los cálculos necesarios para obtener la clasificación energética de los edificios, para este procedimiento se ha seguido la guía [47].

Primero, es necesario saber a qué zona climática pertenece el edificio. La vivienda de estudio está ubicada en Zaragoza y consultando la guía vemos que la zona climática a la que pertenece corresponde con la D3.

En la guía se muestra detalladamente los pasos que se debe seguir para obtener la clasificación energética:

1. Obtener los indicadores energéticos correspondientes al edificio objeto. En este caso son los valores de la vivienda de estudio.
2. Obtener los indicadores energéticos de referencia. Estos indicadores se extraen de la guía.
3. Obtención de los índices de calificación.
4. Asignación de las clases de eficiencia asociadas a cada índice de calificación.

Referente a los indicadores energéticos correspondientes al edificio objeto, estos son los indicadores de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda estudiada. Los valores se extraen de la Tabla 117 y de la Tabla 119 disponibles en el apartado 0. Cabe especificar que el CTE no incluye los factores de iluminación ni electrodomésticos.

Por lo que hace a los indicadores energéticos de referencia, estos deben de ser extraídos de la guía. Para ello, se consulta la tabla I.2 de la misma guía y se extraen los valores para la ubicación deseada (Zaragoza) los cuales se pueden observar en la Tabla 27:

Tabla 27. Tabla con los valores de los indicadores energéticos de referencia para la localidad de Zaragoza. Fuente: [47].

Indicadores energéticos de referencia				
Localidad	Emisiones calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	Emisiones refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	Consumo E. Primaria calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ]	Consumo E. Primaria refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ]
Zaragoza	19,4	4,2	87,9	17,2

Faltarían por calcular las emisiones y el consumo de energía primaria correspondientes al sistema de ACS. Para ello, se deben aplicar las siguientes fórmulas (Eq. 2) y (Eq. 3):

$$(Eq. 2) \quad Emisiones ACS \left( \frac{kgCO_2}{m^2} \right) = Demanda ACS \left( \frac{kWh}{m^2} \right) * 0,32$$

$$(Eq. 3) \quad Energía primaria ACS \left( \frac{kWh}{m^2} \right) = Demanda ACS \left( \frac{kWh}{m^2} \right) * 1,57$$

A continuación, deben calcularse los índices de calificación energética. Para calcularlos se debe aplicar la siguiente ecuación (Eq. 4):

$$(Eq. 4) \quad C_1 = \frac{\left( \frac{I_{objeto}}{I_{reglamentación}} \right)^{-1}}{2*(R-1)} + 0,6$$

Se debe aislar el siguiente coeficiente para determinar los límites, según la (Eq. 5):

$$(Eq. 5) \quad I_{objeto} = I_{reglamentación} * \left( \frac{1 + (C_1 - 0,6) * 2 * (R - 1)}{R} \right)$$

Para poder calcular los límites es necesario conocer los valores de los parámetros R (valor ratio) y C<sub>1</sub> (valor del índice de calificación energética normalizado).

Estos valores son:

- R → 1,5 determinado dependiendo de la zona climática a la que pertenezca.
- Valores de C<sub>1</sub> → Consultar en la Tabla 28 :

Tabla 28. Tabla con los valores de C<sub>1</sub>. Fuente: [47].

Determinación de clases				
<b>A</b>	si		C <sub>1</sub> <	0,15
<b>B</b>	si	0,15 ≤	C <sub>1</sub> <	0,5
<b>C</b>	si	0,50 ≤	C <sub>1</sub> <	1
<b>D</b>	si	1 ≤	C <sub>1</sub> <	1,75

Una vez determinados los límites, faltará comparar los valores de los indicadores del edificio objeto con los límites establecidos en la calificación energética.

#### 4.3.2. Indicadores de confort

Existen diferentes modelos para valorar el ambiente percibido por los ocupantes y definirlo dentro de una zona de confort. La determinación del confort es un factor difícil de evaluar ya que depende de muchos factores externos, de la sensación subjetiva y capacidad de adaptación de los ocupantes. En consecuencia, se han seleccionado una serie de indicadores para cuantificar aquellos aspectos que influyen en el confort.

El período de estudio se centra en la fase de ocupación del edificio residencial. A partir de la respuesta de la encuesta de la ocupación anual de la vivienda referente a la Tabla 23 y los datos de temperatura interior monitorizados a partir del sensor se establecen los días donde la vivienda está desocupada mostrados en la Tabla 29:

Tabla 29. Días donde la vivienda esta desocupada. Fuente: propia.

Vivienda desocupada	
Horas	Días
<b>1-72 h</b>	01/01/2017 - 03/01/2017
<b>2809-2952 h</b>	28/04/2017 - 03/05/2017
<b>4489- 4752 h</b>	07/07/2017 - 17/07/2017
<b>5329-5808 h</b>	11/08/2017 - 30/08/2017
<b>8569- 8604 h</b>	24/12/2017 - 26/12/2017



Concretamente se han utilizado indicadores del marco Level(s) del apartado de salud, confort y bienestar que corresponden al macroobjetivo 4. Partiendo de los recursos y datos de los que se dispone se procederá al cálculo del indicador 4.1 para la evaluación de la calidad del aire en interiores. Este identifica tres parámetros a calcular: ventilación, CO<sub>2</sub> y humedad del aire. En este proyecto, será posible la evaluación de la humedad del aire, pero no se dispone de los suficientes datos para la determinación de los otros parámetros. También se podrá calcular el indicador 4.2 para estimar el tiempo fuera del rango de confort.

Además de estos indicadores, se ha decidido añadir otros modelos de cálculo reconocidos en normas europeas para evaluar el ambiente interior. Específicamente se ha optado por aplicar el modelo adaptativo y el diagrama de Givoni. Estos están desarrollados detalladamente en las normas EN 7730 [34] y EN 15251:2007 [33].

Todos estos indicadores se evaluarán por un lado con los datos monitorizados y por otro lado con los resultados obtenidos de la simulación, además de contar con la información de la encuesta realizada por los ocupantes.

Para los primeros dos indicadores de la calidad del aire y el tiempo fuera del rango de confort, es necesario contar con un método de clasificación basado en categorías. Cada categoría define los valores recomendados para los diferentes parámetros a evaluar. En la Tabla 30 Se muestra la descripción de la aplicabilidad de las categorías utilizadas. Estas categorías están definidas según la Norma EN 15251:2007 [33], en otras normas también se utilizan estas categorías pero pueden nombrarse de forma diferente.

*Tabla 30. Descripción de cada categoría utilizada. Fuente: [33].*

Categoría	Explicación
I	Alto nivel de expectativa, recomendado para espacios ocupados por personas débiles y sensibles con requisitos especiales, como disminuidos, enfermos, niños muy pequeños y ancianos.
II	Nivel normal de expectativa; debería utilizarse para edificios nuevos y renovados.
III	Aceptable y moderado nivel de expectativa; puede utilizarse en edificios ya existentes.
IV	Valores fuera de los criterios de las categorías anteriores. Esta categoría sólo debería aceptarse durante una parte limitada del año.

#### 4.3.2.1. Calidad del aire [Level(s) 4.1.1]

El análisis de la calidad interior en edificios residenciales depende de muchos parámetros y fuentes como la ocupación, emisiones de actividad, mobiliario, materiales del suelo y paredes, etc. Uno de los parámetros más importantes para tener en cuenta es la humedad. Este factor es una preocupación particular en la ventilación ya que la mayoría de los efectos adversos causan problemas de salud y en el edificio.

Por ello, se ha escogido la humedad relativa del aire interior como un factor a determinar y definirlo como un indicador para evaluar la calidad del aire de la vivienda.

Para la definición de este indicador se han utilizado los valores monitorizados de la humedad relativa interior y los resultados de la simulación referentes a este factor. A partir de estos datos obtenidos se puede hacer una clasificación por categorías y determinar el estado en el que se encuentra.

Los criterios de diseño para cada categoría recomendados para la humedad en espacios ocupados se muestran en la Tabla 31:

Tabla 31. Criterios para la clasificación en categorías de la humedad relativa interior. Fuente: [33].

Categoría	Humedad relativa de deshumidificación [%]	Humedad relativa de humidificación [%]
I	50	30
II (*)	60	25
III (*)	70	20
IV	>70	<20
(*) La categoría II excluye los valores de la categoría I. La Categoría III excluye los valores de la categoría II y la categoría I.		

#### 4.3.2.2. Tiempo fuera del rango de confort [Level(s) 4.2]: Método Fanger

Este indicador es uno de los más importantes para tener en cuenta para poder comprobar si un ambiente térmico determinado satisface los criterios de comodidad y para establecer los requisitos de los diferentes niveles de aceptabilidad.

Para poder calcular el comportamiento del edificio se utilizará el método descrito en la norma EN15251 [33] conocido como evaluación de los índices PMV y PPD, comentado anteriormente en este proyecto. Para la definición de este indicador se han utilizado tanto los valores monitorizados como los resultados de la simulación. A partir de estos datos obtenidos se pueden determinar estos índices y hacer una comparación.

Tabla 32 establece diferentes categorías del ambiente interior para diferentes rangos de PMV y PPD:

*Tabla 32. Categorías para la determinación del confort en edificios calentados y enfriados mecánicamente. Fuente: [33].*

Categoría	PPD [%]	PMV
I	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$
II (*)	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$
III (*)	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$
IV	>15	$PMV < -0,7$ o $+0,7 < PMV$
(*) La categoría II excluye los valores de la categoría I. La Categoría III excluye los valores de la categoría II y la categoría I.		

Para poder hacer la distinción entre cada categoría, previamente es necesario contar con los siguientes parámetros:

- Temperatura del aire ( $T_a$ ): Corresponde a los datos horarios de la temperatura interior monitorizada y a la temperatura de la zona controlada del edificio en la simulación durante un año.
- Temperatura radiante media ( $T_{rm}$ ): Se considera que es igual que la temperatura interior, ya que es un parámetro difícil de monitorizar y tener datos reales.
- Velocidad del aire ( $V_a$ ): Como no se posee de datos reales, se hace la hipótesis cogiendo un valor común de velocidad del aire igual a 0,1 m/s.
- Humedad relativa: Corresponde a los datos horarios de la humedad interior monitorizada y a la humedad de la zona controlada del edificio en la simulación durante un año.
- Vestimenta (clo): Se hace una hipótesis con valores normalizados de la vestimenta de los ocupantes considerando verano e invierno. El aislamiento de la ropa ( $I_{cl}$ ) se estima directamente a partir de los datos recogidos en la norma EN7730 [34]. En la Tabla 33 se encuentra el valor del aislamiento térmico considerado para cada franja horaria de un día

tipo de invierno y verano. Se ha tenido en cuenta que durante la noche hay una adición de ropa y el aislamiento siempre es un poco superior. Los intervalos del día considerados están acorde con aquellos que se determinaron en la encuesta.

Tabla 33. Valores considerados de clo para cada franja horaria. Fuente: propia.

	Invierno	Verano
Hora	clo	clo
22h—8h	2.5	1
8h—13h	1	0.5
13h—17h	1.5	0.7
17h—20h	1	0.5
20h—22h	1.5	0.7

- Tasa metabólica (met): En la encuesta realizada, se preguntaba la actividad que realizan los ocupantes en las diferentes franjas horarias establecidas. Esta es la misma durante todo el año. A partir de la respuesta se extraen los valores de la tasa metabólica referentes a cada actividad, estos valores se encuentran en EN7730 [34].

Tabla 34. Valores de la tasa metabólica met para cada franja horaria. Fuente: propia.

	Actividad	Tasa metabólica
Hora	Descripción	met
22h—8h	Reposo, tenido	0.8
8h—13h	Actividad sedentaria	1.2
13h—17h	Reposo, sentado	1
17h—20h	Actividad sedentaria	1.2
20h—22h	Reposo, sentado	1

Cuando se tienen estos datos contabilizados cada hora durante un año se utilizan como variables de entrada para ser introducidos en el programa *Rstudio*. Mediante este programa y un algoritmo especificado en la misma norma se genera la salida de los valores de PPD y PMV.

Con los resultados horarios durante un año de estos dos parámetros se procederá a la clasificación por categorías para evaluar el tiempo durante el cual los habitantes se encuentran en un estado de confort o de discomfort. Además, con los resultados de la encuesta se podrá comparar verdaderamente se cumplen los requisitos previos y el estado en el que se encuentran los ocupantes.

#### 4.3.2.3. Modelo Adaptativo: Temperatura operativa

Este modelo se utiliza generalmente para edificios sin sistemas de enfriamiento mecánico, en el caso de este proyecto, la vivienda consta con sistema de refrigeración mediante fancoils. Aun así, también se ha optado por este método ya que como especificaron los ocupantes en la encuesta en las noches de verano se usa ventilación natural, y la vivienda consta con protecciones solares, es decir, se considera un edificio con climatización mixta. En el método Adaptativo las condiciones térmicas interiores de diseño dependen de las condiciones meteorológicas. Para esto, se definen tres categorías, que se obtienen mediante las siguientes ecuaciones de la Tabla 35. Para cada categoría hay un límite superior y un límite inferior.

Tabla 35. Ecuaciones para determinar el criterio de diseño (Método Adaptativo). Fuente: [33].

Categoría	Temperatura Operativa (°C)
I	$T_{op} = (0.33 \cdot \theta_{rm} + 18.8) \pm 2$
II	$T_{op} = (0.33 \cdot \theta_{rm} + 18.8) \pm 3$
III	$T_{op} = (0.33 \cdot \theta_{rm} + 18.8) \pm 4$
* $\theta_{rm}$ es la temperatura exterior media.	

Donde la temperatura exterior media exponencial se obtiene con la (Eq. 6):

$$(Eq. 6) \quad \theta_{rm} = (1 - \alpha) \cdot \theta_{ed-1} + \alpha \cdot \theta_{rm-1}$$

- $\theta_{rm}$  es la temperatura exterior media del día de hoy
- $\theta_{rm-1}$  es la temperatura exterior media exponencial del día anterior
- $\theta_{ed-n}$  es la temperatura exterior media diaria de hace  $n$  días
- $\alpha$  es una constante entre 0 y 1. Se recomienda usar 0.8.

Los límites de temperatura presentados en la Tabla 35 deben utilizarse para evaluar y dimensionar los medios pasivos de un edificio para prevenir del sobrecalentamiento en condiciones veraniegas, como la orientación de las ventanas, dimensiones de toldos solares, etc. Cuando los límites superiores de temperatura no pueden garantizarse mediante medios pasivos, es inevitable la utilización de sistemas mecánicos de refrigeración.

En tal caso, el funcionamiento de la vivienda en cuestión prioriza la utilización de sistemas pasivos, consta de protecciones solares, y utilización de ventilación natural. Solo cuando es necesario y la temperatura sobrepasa la temperatura de consigna de 25 grados se utiliza la climatización mediante fancoils aprovechando las horas valle de la tarifa eléctrica.

Para realizar este método, primero se tienen que determinar una serie de parámetros:

- Temperatura operativa ( $T_{op}$ ): definida anteriormente en el apartado de confort 3.2.3. En la (Eq. 1) se detalla como calcular la temperatura operativa que depende de los siguientes parámetros:
  - Temperatura del aire ( $T_a$ ): Corresponde a los datos horarios de la temperatura interior monitorizada y a la temperatura de la zona controlada del edificio en la simulación durante un año.
  - Temperatura radiante media ( $T_{rm}$ ): Se considera que es igual que la temperatura interior, ya que es un parámetro difícil de monitorizar y tener datos reales.
  - Parámetros A y B: valores que dependen de la  $V_a$ , que como se ha comentado anteriormente se hace la hipótesis cogiendo un valor común de velocidad del aire igual a 0,1 m/s. Considerando la Tabla 11, A y B toman el valor de 0,5.

Como resultado, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$(Eq. 7) \quad T_{op} = T_a \cdot 0,5 + T_a \cdot 0,5 = T_a$$

- Temperatura exterior media ( $\Theta_{rm}$ ): Se considera que es la temperatura exterior promedio de funcionamiento.

A partir de aquí, se pueden graficar como se ve en la Figura 27 los límites superiores e inferiores de cada categoría:

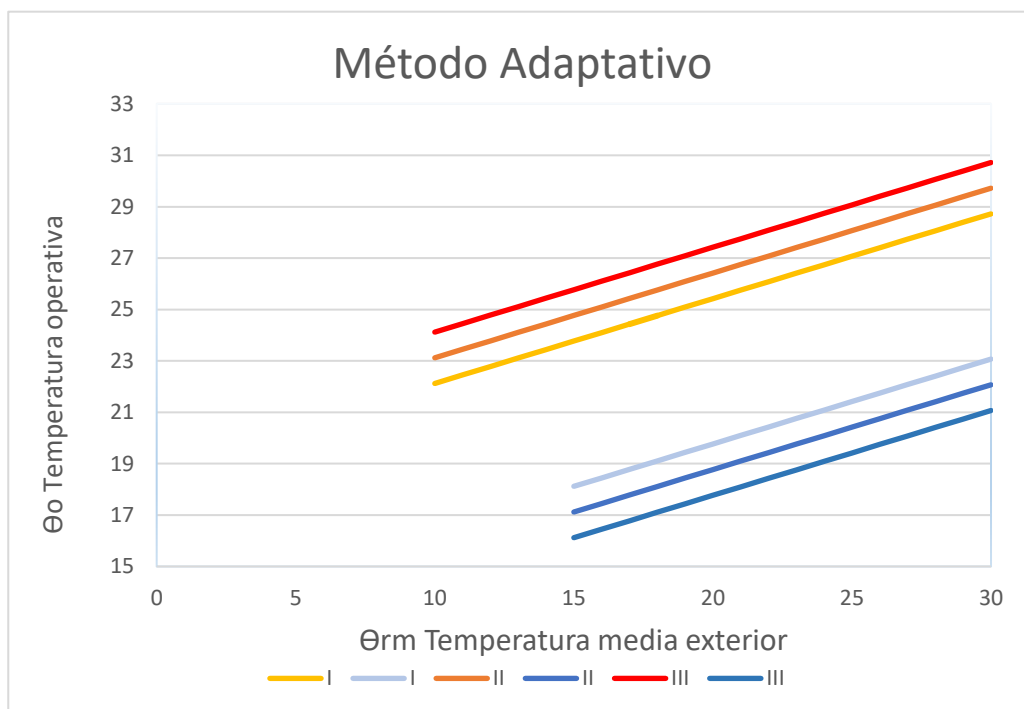


Figura 27. Gráfico de los límites de temperaturas de funcionamiento. Fuente: propia.

Con los datos monitorizados de la temperatura interior del edificio y la temperatura exterior promedio mensual de la localidad, se puede determinar dentro de que categoría se encuentran dichas temperaturas.

#### **4.3.2.4. Diagrama Givoni**

Este diagrama pretende determinar el comportamiento del edificio en referencia a las condiciones de bienestar térmico y confort e indicar que aspectos se necesitan mejorar. En el apartado de confort 3.2.3 se explica detalladamente en que consiste este diagrama.

Para utilizar este método, solo es necesario contar con los valores horarios anuales de las temperaturas exteriores e interiores y la humedad relativa exterior e interior. Estos datos son los que se introducen en una hoja de cálculo para ser distribuidos en el diagrama de Givoni mostrado en la Figura 13, con la finalidad de determinar en qué zona del diagrama se encuentran.

#### **4.3.3. Indicador de escenario futuro [Level(s) 5.1.1]**

Este indicador está determinado dentro del marco Level(s), específicamente en el apartado de coste, valor y riesgo que comprende los macroobjetivos 5 y 6.

El objetivo es evaluar si el edificio construido actualmente puede hacer frente al cambio climático del futuro y así poder prever la protección de la salud y el bienestar de los ocupantes además de minimizar los riesgos del valor del inmueble.

Se parte de dos escenarios futuros considerando las condiciones meteorológicas para el 2030 y 2050. A partir de estos escenarios se procede a la simulación y modelización del edificio en estas condiciones para evaluar el comportamiento energético. Con los resultados de la simulación se evaluarán los indicadores energéticos de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub>. Finalmente, con estos resultados se puede comparar el comportamiento actual del edificio con el comportamiento futuro estimado para estos dos escenarios.

Los datos meteorológicos para el 2030 y 2050 se generan a través del programa Meteonorm. El escenario considerado es del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), es una organización de gobiernos que son miembros de las Naciones Unidas o de la OMM, actualmente cuenta con 195 miembros. El objetivo del IPCC es proporcionar a los gobiernos en todos los niveles información científica que puedan utilizar para desarrollar políticas climáticas. Los informes del IPCC también son un aporte clave en las negociaciones internacionales sobre el cambio climático.

Existen muchos escenarios creados por el IPCC para diferentes tipos de centros y modelos. Concretamente en este proyecto se utiliza el escenario del centro *Hadley Centre*

for Climate Prediction and Research (HCCPR) y del modelo Met Office climate prediction model (HadCM3). Dentro de este modelo existen diferentes experimentos del *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES), el que se utilizará será el A2.

Con los ficheros de datos generados para el 2030 y 2050 se introducirán como un fichero externo en la simulación y obtener los resultados para ser analizados.

#### 4.4. Simulación dinámica de la vivienda nZEB mediante TRNSYS 17

El software utilizado para la simulación de la vivienda es TRNSYS 17, un entorno de simulación completo y ampliable para la simulación de sistemas transitorios. La estructura de este software es abierta y modular, permitiendo la simulación de edificios a partir de geometría 3D y la simulación de sistemas de climatización avanzados.

La definición de sistema es un conjunto de componentes interconectados con el objetivo de cumplir una misión específica. Cada componente representa una estructura física o un proceso u operación.

Un componente requiere únicamente dos clases de información: parámetros e inputs. Los primeros son las variables que no dependen del tiempo y los segundos son dependientes del tiempo. Los componentes proporcionan las variables deseadas como outputs.

El entorno TRNSYS consta de distintos módulos, los cuales se encuentran agrupados en la Figura 28:

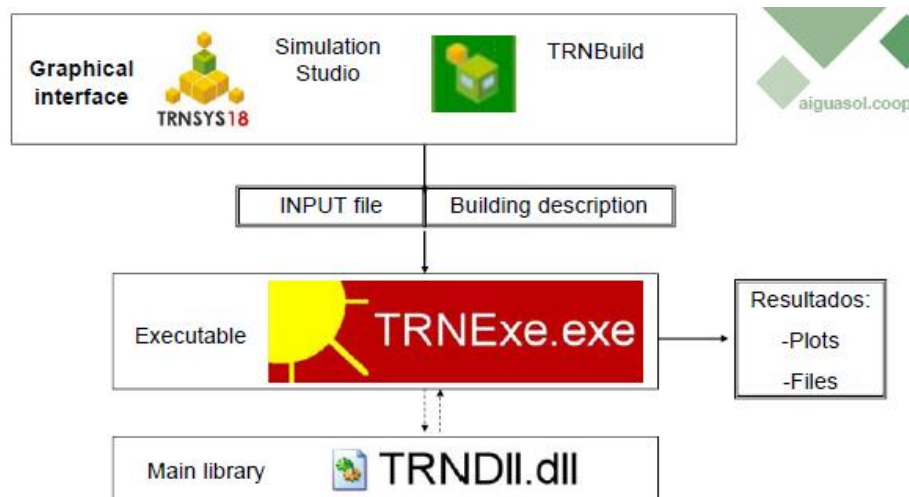


Figura 28. Módulos en TRNSYS. [48]

TRNSYS17 consta de dos interfaces gráficas que permiten al usuario interactuar con el entorno TRNSYS. Estas dos interfaces gráficas son el *Simulation Studio* y TRNBuild.



En el *Simulation Studio* el usuario es capaz de crear sus proyectos añadiendo datos meteorológicos, sistemas de climatización y control, permitiendo su parametrización y enlace de componentes (inputs/outputs) para llegar a la simulación deseada. En la Figura 28 se muestra la estructura de la interfaz *Simulation Studio*:

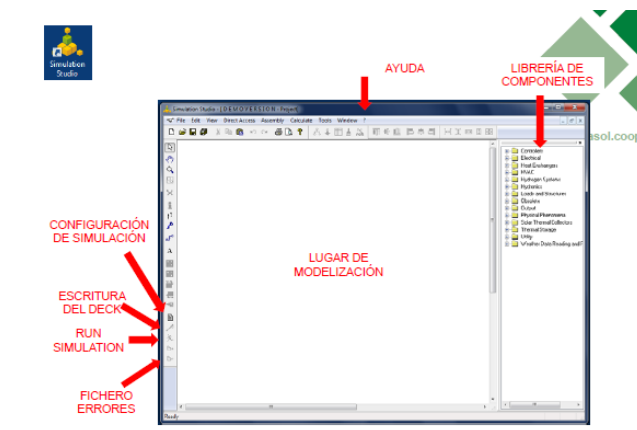


Figura 29. Interfaz *Simulation Studio*. Fuente: [48].

Tal y como se puede observar en la Figura 29, en la interfaz *Simulation Studio* es donde se lleva a cabo la modelización. Mediante la librería de componentes proporcionada por el mismo software TRNSYS se seleccionan los componentes deseados para proceder con la modelización.

Referente a TRNBuild, es la interfaz gráfica que permite al usuario definir las características constructivas del edificio o vivienda, como también definir las ganancias internas de esta. La vivienda puede ser simulada con un modelo 3D mediante la extensión Sketchup o bien entrar manualmente todas sus características. En la Figura 30 se muestra la interfaz TRNBuild:

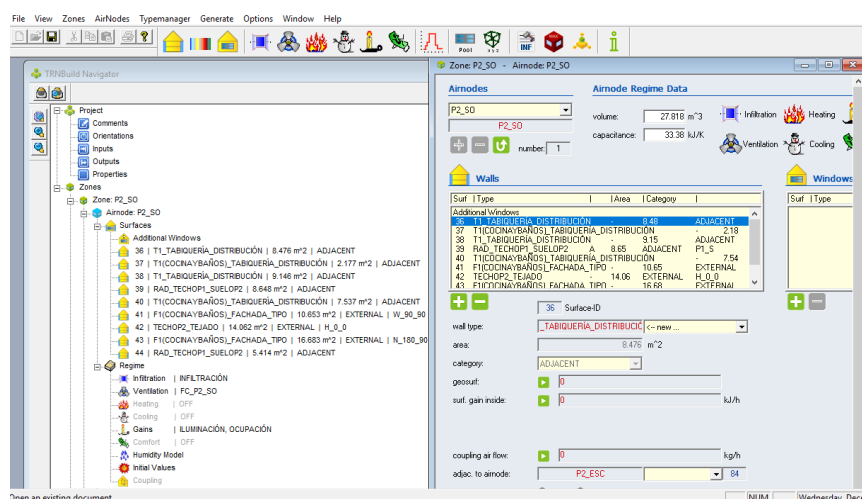


Figura 30. Interfaz gráfica TRNBuild. Fuente: propia.

Una vez definida la vivienda y realizada la conexión de los componentes con sus respectivos inputs, se procede a la ejecución de la simulación desde la interfaz *Simulation Studio* y a la obtención de resultados. El módulo que lo hace posible es el ejecutable TRNExe.exe, el cual nos proporciona los ficheros con los resultados como también los gráficos deseados. En la Figura 31 se muestra cómo se representan los resultados:

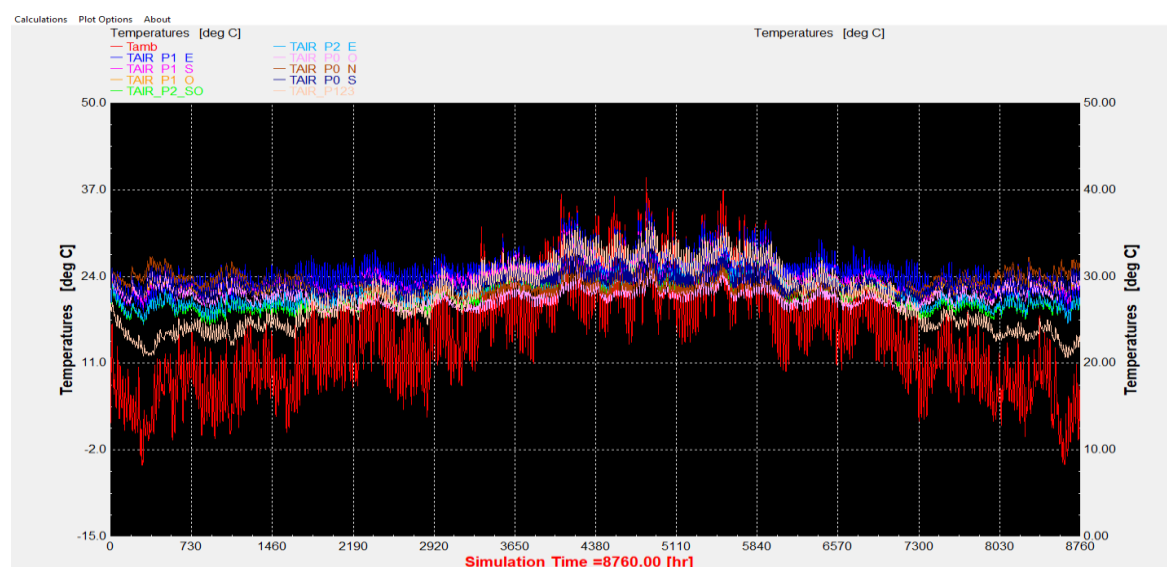


Figura 31. Ejemplo de representación en gráfico de los resultados del *Simulation Studio*. Fuente: *Simulation Studio*.

Finalmente, TRNSYS 17 dispone de su librería TRNDll.dll donde se encuentran el *kernal*, cerebro de TRNSYS, el cual es el encargado de leer el fichero de entrada, llamar a los componentes y determinar la convergencia. En la librería también se encuentran los *types*, estos son los componentes del sistema y son capaces de leer ficheros de datos, procesar radiación y modelar sistemas.

#### 4.4.1. Implementación de la vivienda en TRNSYS

Para realizar la simulación dinámica de la vivienda se ha partido de la simulación realizada en el TFG mencionado previamente [1]. De este trabajo se ha usado únicamente la simulación del modelo físico definido en Sketchup y caracterizado en TRNBuild. A partir de este modelo se han realizado las simulaciones correspondientes al sistema de climatización y ACS como también la implementación del cálculo de los indicadores.

##### 4.4.1.1. Características constructivas de la vivienda

Las características de las paredes y muros de la vivienda se han extraído del proyecto mencionado previamente. Para una mayor comprensión se ha incluido en este trabajo la definición de las zonas térmicas de la vivienda con sus respectivas superficies, como también los modelos de muros y fachadas definidos mediante TRNBuild.

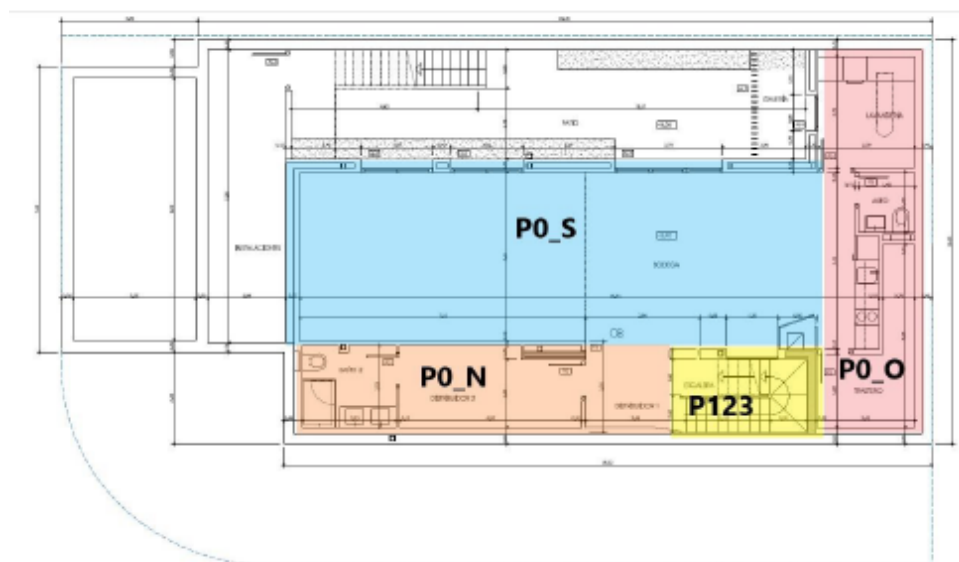
Para la implementación de la vivienda en TRNBuild es necesario realizar una simplificación para poder trabajar con ella a través del software. Para una mayor practicidad y optimización se divide la vivienda en zonas térmicas, en cada una de ellas se pueden establecer condiciones distintas.

Cada planta de la vivienda se ha dividido en diferentes zonas térmicas, en algunos casos llegando a unir diferentes estancias de la planta. Se ha decidido unir algunas estancias en una misma zona térmica teniendo en cuenta su cercanía y si sus propiedades térmicas son similares (orientación, uso, etc.).

A continuación, se muestran las zonas térmicas de cada planta definidas en TRNBuild con sus respectivos volúmenes y áreas interiores:

*Tabla 36. Clasificación de las zonas térmicas de la planta sótano, con sus respectivas áreas y volúmenes.*

PLANTA SÓTANO		
ZONA TÉRMICA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )
P0_S	67,13 m <sup>2</sup>	140,65 m <sup>3</sup>
P0_O	28,71 m <sup>2</sup>	57,29 m <sup>3</sup>
P0_N	20,41 m <sup>2</sup>	50,35 m <sup>3</sup>
P123	5,41 m <sup>2</sup>	54,99 m <sup>3</sup>



*Figura 32. Zonas térmicas de la planta sótano. Fuente: [1].*

Tabla 37. Clasificación de las zonas térmicas de la planta baja, con sus respectivas áreas y volúmenes.

PLANTA BAJA		
ZONA TÉRMICA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )
P1_E	54,83 m <sup>2</sup>	131,68 m <sup>3</sup>
P1_S	13,92 m <sup>2</sup>	32,66 m <sup>3</sup>
P1_0	12,62 m <sup>2</sup>	29,79 m <sup>3</sup>
P123	5,41 m <sup>2</sup>	54,99 m <sup>3</sup>

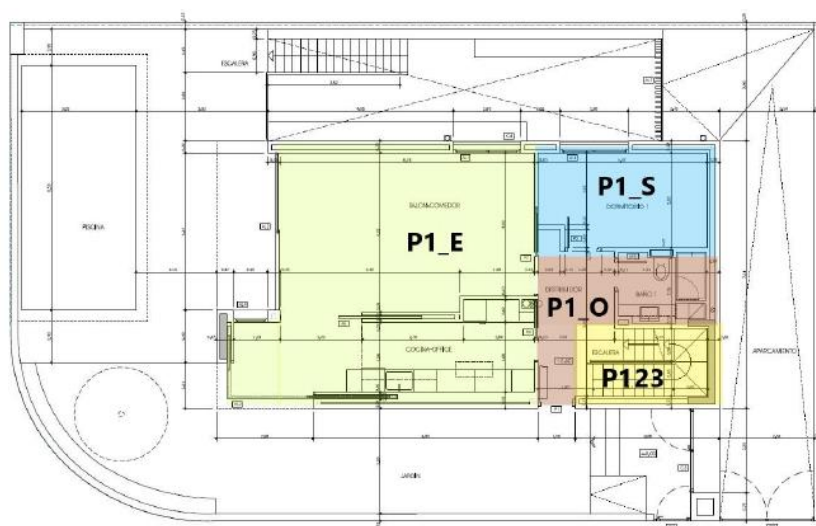
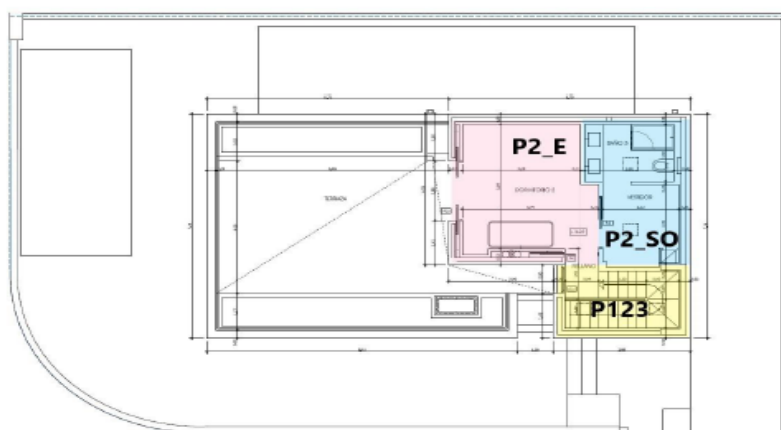


Figura 33. Zonas térmicas de la planta baja. Fuente: [1].

Tabla 38. Clasificación de las zonas térmicas de la primera planta, con sus respectivas áreas y volúmenes.

PRIMERA PLANTA		
ZONA TÉRMICA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )
P2_E	19,95 m <sup>2</sup>	41,44 m <sup>3</sup>
P2_SO	14,06 m <sup>2</sup>	27,81 m <sup>3</sup>
P123	5,41 m <sup>2</sup>	54,99 m <sup>3</sup>



*Figura 34. Zonas térmicas de la primera planta. Fuente: [1].*

Referente al aislamiento de la vivienda, esta dispone de aislamiento SATE (Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior). El sistema SATE ofrece un valor de resistencia térmica igual o superior a 1 m<sup>2</sup>K/W cumpliendo con la norma UNE-EN 13499 y 13500.

Concretamente la vivienda dispone de un aislamiento SATE de la empresa ROCKWOOL, el cual tiene las características térmicas que se muestran en la Tabla 39:

*Tabla 39. Características técnicas del sistema SATE de la vivienda. [1]*

Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Aislamiento acústico (dBA)	Resistencia al fuego
<b>U = 0,3</b>	RA = 54 dBA	REI = 120 (estimado)

Con tal de lograr una mayor comprensión, en la Tabla 40 se adjuntan los valores de la transmitancia térmica de los suelos de la vivienda extraídos de [1]. Estos valores de transmitancia térmica son para los suelos de la vivienda antes de implementar el suelo radiante:

*Tabla 40. Tabla con los valores de la transmitancia térmica de los distintos suelos de la vivienda.*

Nombre suelo	Planta	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)
Groundfloor	P0 (Sótano)	0,221
Techo sótano/suelo P1	P1 (Planta baja)	0,526
Techo P1/suelo P2	P2 (Primera planta)	0,551

Si se precisa de mayor información sobre las características de los suelos mostrados en la Tabla 40, se puede consultar el Anexo A4.

#### 4.4.2. Funcionalidad del sistema

El sistema del que dispone la vivienda y el cuál se debe implementar en TRNSYS es un sistema que incluye climatización y ACS. El sistema de climatización dispone de un sistema de calefacción y uno de refrigeración. El sistema de calefacción está formado por suelo radiante y el de refrigeración por fancoils. El sistema funciona gracias a una bomba de calor, la cual entrega agua caliente tanto al sistema de calefacción como al de ACS. Referente al sistema de refrigeración, también funciona a través de la bomba de calor. Este no permite que más de un sistema esté activado, es decir, solo puede funcionar el sistema de climatización (o bien calefacción o refrigeración) o bien el de ACS. Nunca se va a dar el caso de que la calefacción y el ACS estén activados a la vez; si en algún momento hay una demanda simultánea de ambos se va a priorizar la demanda de ACS. En la Figura 35 se puede observar el sistema completo implementado en TRNSYS:

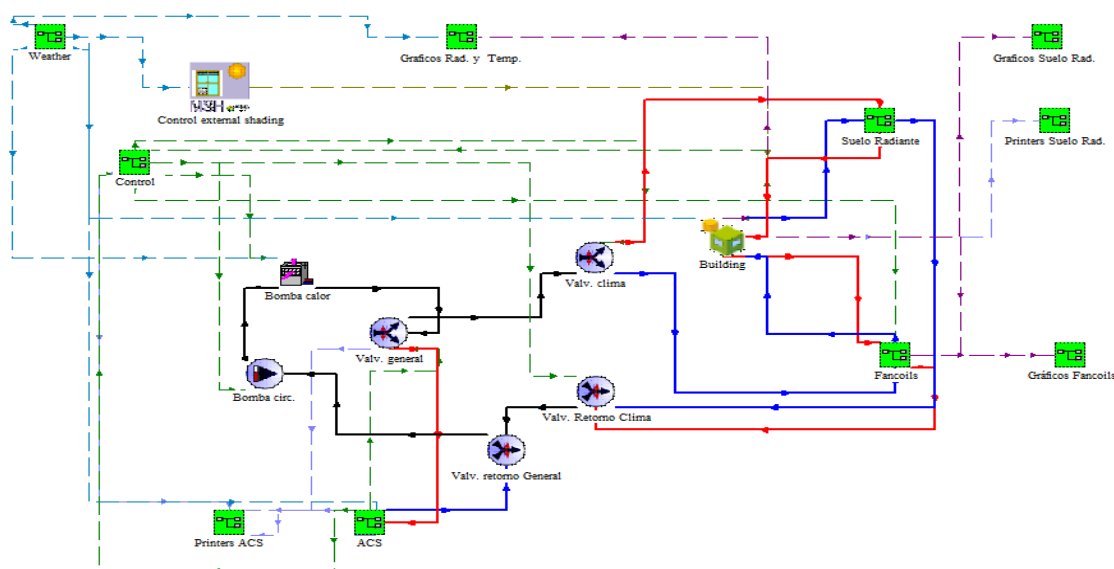


Figura 35. Vista del sistema general implementado en Simulation Studio.

Se asegura la circulación y distribución del agua procedente de la bomba de calor a través de distintas válvulas. Primero, se encuentra una válvula general, esta primera es la encargada de priorizar hacia donde circulará el agua, si hacia el sistema de climatización o hacia el tanque de ACS.

Tal y como se ha especificado anteriormente, el sistema priorizará antes una demanda de ACS que de climatización. Si se activa la demanda de ACS, el agua procedente de la bomba de calor circulará hasta llegar al tanque de ACS. De ahí el agua caliente sanitaria será distribuida por la vivienda y el resto entrará de retorno a la bomba de calor. Si en cambio se activa la demanda de climatización, el agua circulará de la válvula general a la válvula de climatización, la cual distribuirá el agua mediante válvulas al circuito de calefacción o bien al de refrigeración. Para asegurar el retorno del agua a la bomba de calor se dispone de una bomba de circulación.

Dependiendo de qué sistema se active, el agua circulará por un circuito de válvulas o por otro. Estos circuitos de válvulas están dimensionados para que el caudal que circule por ellas sea el adecuado para cada sistema. Para asegurar que las válvulas distribuyen acorde con la demanda y las prioridades deseadas se instalan distintos sistemas de control, los cuáles actuarán sobre las válvulas, la bomba de calor y la bomba de circulación.

#### **4.4.2.1. Componentes generales del sistema en TRNSYS**

A continuación, se van a explicar en detalle los componentes generales del sistema. Se consideran componentes generales aquellos que no tienen un papel único, es decir, no pertenecen únicamente al sistema de climatización ni al sistema de ACS. Estos componentes son la implementación de la vivienda, la bomba de calor, la bomba de circulación y las válvulas generales.

- **Vivienda multi-zona**

Para disponer en el *Simulation Studio* de la vivienda caracterizada en TRNBuild es necesario introducir el *type* 56 en la simulación. El *type* 56 contiene el modelo de la vivienda y permite realizar conexiones entre el modelo y los demás componentes de la simulación. Aun así, los inputs y los outputs del modelo de la vivienda deben ser creados en TRNBuild, ya que el *type* 56 solo permite realizar las conexiones.

- **Bomba de calor**

La bomba de calor es el componente básico para asegurar que tanto el sistema de climatización como el de ACS funcionen. El *type* que se ha usado para simular la bomba de calor en la simulación es el *Type* 948. Al ser un componente tan esencial, en la Tabla 41 se muestran los valores de los parámetros introducidos en el *type*, los valores han sido extraídos del catálogo de la bomba de calor [39]:

*Tabla 41. Valores de los parámetros introducidos en el Type 948.*

Parámetros bomba de calor: <i>Type</i> 941	
Parámetros	Valor
Potencia del ventilador (W)	70
Caudal total de aire (m <sup>3</sup> /h)	6000
Capacidad de enfriamiento nominal (kW)	13,12
Potencia de enfriamiento nominal (kW)	5,65
Capacidad de calefacción nominal (kW)	16
Potencia de calefacción nominal (kW)	3,72

- **Válvula general**

Cuando la bomba de calor funciona, ésta hace circular un caudal de agua (2616 kg/h) hacia la válvula general. Esta válvula es la encargada de distribuir el agua al sistema de ACS o a otra válvula (climatización). Tiene como prioridad hacer circular el agua hacia el sistema de ACS cuándo se tenga una demanda de este. La válvula utilizada para la simulación en TRNSYS es una válvula divergente con control, el *type* correspondiente a esta válvula es el número 11f.

- **Válvula de climatización**

La válvula de climatización recibe todo el caudal de agua desde la válvula general, cuando esta última recibe una demanda de climatización y no de ACS. La función de la válvula de climatización es distribuir el agua que le llega o bien al sistema de refrigeración o al de calefacción, dependiendo siempre de la demanda necesaria en ese instante. Si la válvula de climatización recibe una demanda de calefacción, va a distribuir el fluido hasta el sistema de calefacción. Lo mismo ocurre con el sistema de refrigeración. Es necesario remarcar que nunca se va a tener una demanda simultánea de calefacción y refrigeración. La válvula de climatización distribuirá todo el caudal hacia un sistema o hacia otro. El *type* usado para simular esta válvula es el mismo que el utilizado para la válvula general, el *type* 11f.

- **Válvula de retorno del sistema de climatización**

Es necesario incorporar una válvula de retorno para el sistema de climatización. Esta válvula va a recolectar el caudal de agua que venga de vuelta del sistema de climatización para poder asegurar que se cierra el círculo. El *type* que se usa para esta válvula es el *type* 11d, es una válvula que tiene como función mezclar dos flujos, en este caso va a mezclar el flujo de agua procedente del retorno del sistema de calefacción con el procedente del sistema de refrigeración.

- **Válvula de retorno general**

La válvula de retorno general tiene como función recolectar el flujo de agua procedente de la válvula de retorno del sistema de climatización con el flujo de agua de retorno procedente del sistema de ACS. El *type* usado es el mismo que el de la válvula anterior, el *type* 11d.

- **Bomba de circulación**

Es necesario implementar una bomba de circulación en la simulación para garantizar que la bomba de calor recibe el retorno del agua correctamente, asegurando así su funcionamiento continuo. El *type* utilizado en TRNSYS es el *type* 110. Esta bomba de circulación tendrá como entrada el flujo de agua de retorno, procedente de la válvula de retorno general. La bomba de circulación se encargará de impulsar



este flujo de agua de retorno hasta la bomba de calor. En Tabla 42 se muestran los valores de los parámetros de la bomba de circulación:

Tabla 42. Valores de los parámetros introducidos en el Type 110.

Bomba de circulación: Type 110	
Parámetros	Valores
Caudal del fluido (kg/hr)	2616
Potencia (kJ/h)	2684

En la Figura 36 se puede observar la parte con los componentes generales del sistemas, la cual se ha obtenido realizando un zoom a la vista general del sistema correspondiente a la Figura 35.

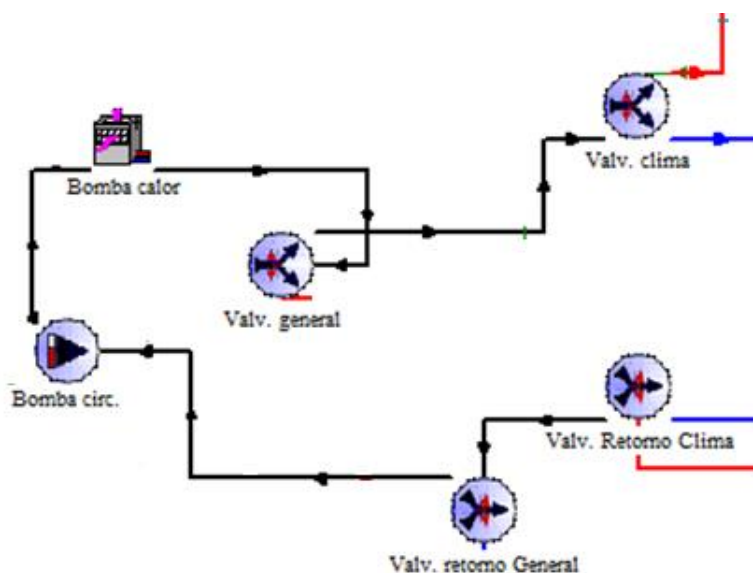


Figura 36. Vista de las válvulas, de la bomba de calor y de la bomba de circulación implementadas en Simulation Studio.

#### 4.4.2.2. Conexiones entre los componentes generales de la simulación

Las flechas de la Figura 37, Figura 38, Figura 39, Figura 40 y Figura 41 muestran las conexiones entre componentes tal y como se ve en TRNSYS. Las conexiones realizadas entre componentes se muestran en la Tabla 43, Tabla 44, Tabla 45, Tabla 46 y Tabla 47:

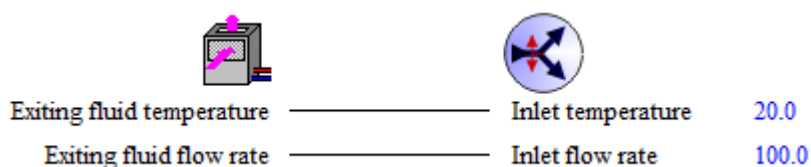


Figura 37. Conexiones entre la bomba de calor y la válvula general. Fuente: TRNSYS.

Tabla 43. Tabla con las conexiones entre la bomba de calor y la válvula general.

Conexiones Bomba de calor → Válvula general		
Outputs bomba de calor	Inputs válvula general	Unidades
Temperatura de salida del fluido	Temperatura de entrada	°C
Caudal de salida del fluido	Caudal de entrada	kg/hr



Figura 38. Conexiones entre la válvula general y la válvula de climatización. Fuente: TRNSYS.

Tabla 44. Tabla con las conexiones entre la válvula general y la válvula de climatización.

Conexiones Válvula general → Válvula climatización		
Outputs válvula general	Inputs válvula climatización	Unidades
Temperatura de salida del fluido en la salida 1	Temperatura de entrada	°C
Caudal de salida del fluido en la salida 1	Caudal de entrada	kg/hr

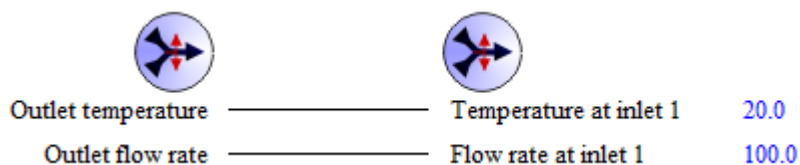


Figura 39. Conexiones entre la válvula de retorno del sistema de climatización y la de retorno general. Fuente: TRNSYS.

Tabla 45. Tabla con las conexiones entre la válvula de retorno del sistema de climatización y la válvula de retorno general.

Conexiones Válvula retorno sistema climatización → Válvula retorno general		
Outputs válvula retorno sistema climatización	Inputs válvula retorno general	Unidades
Temperatura de salida	Temperatura entrada en la entrada 1	°C
Caudal de salida	Caudal de entrada en la entrada 1	kg/hr



Figura 40. Conexiones entre la válvula de retorno general y la bomba de circulación. Fuente: TRNSYS.

Tabla 46. Tabla con las conexiones entre la válvula de retorno general y la bomba de circulación.

Conexiones Válvula retorno general → Bomba de circulación		
Outputs válvula retorno general	Inputs bomba de circulación	Unidades
Temperatura de salida	Temperatura de entrada del fluido	°C
Caudal de salida	Caudal de entrada del fluido	kg/hr

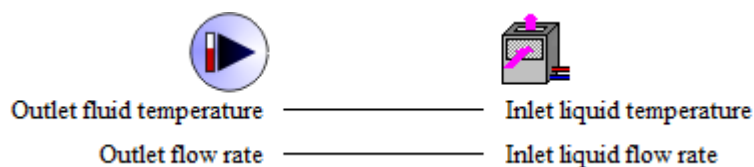


Figura 41. Conexiones entre la bomba de circulación y la bomba de calor. Fuente: TRNSYS.

Tabla 47. Tabla con las conexiones entre la bomba de circulación y la bomba de calor.

Conexiones Bomba de circulación → Bomba de calor		
Outputs bomba de circulación	Inputs bomba de calor	Unidades
Temperatura de salida	Temperatura de entrada del fluido	°C
Caudal de salida	Caudal de entrada del fluido	kg/hr

#### 4.4.3. Implementación del sistema de climatización en TRNSYS

Una vez detallados los componentes generales de la simulación, se procede a explicar detalladamente la implementación del sistema de climatización.

##### 4.4.3.1. Sistema de calefacción mediante suelo radiante

La vivienda dispone de suelo radiante en todas las estancias interiores habitables con excepción de la zona de las escaleras. La implementación del suelo radiante en los suelos de la vivienda se ha realizado mediante el uso de TRNBuild y *Simulation Studio*.

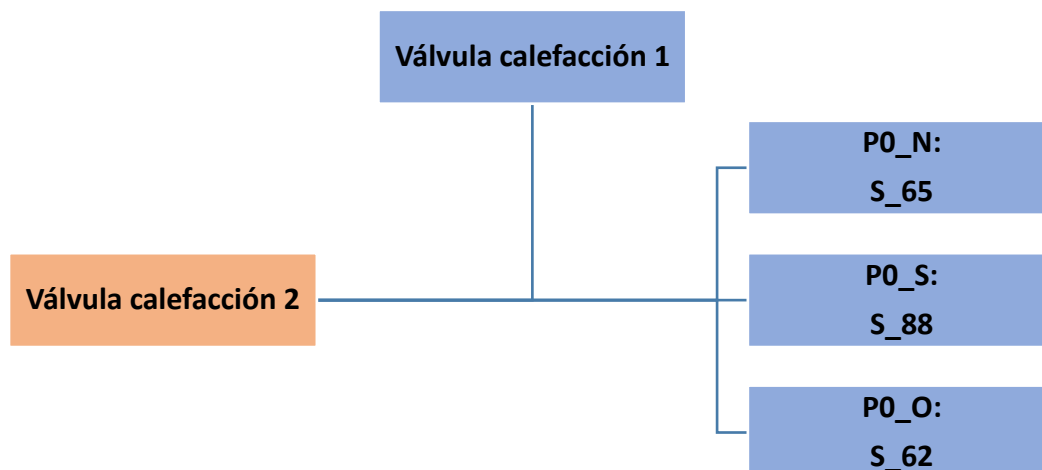
###### 4.4.3.1.1 Suelo radiante: Simulation Studio

A continuación, se va a detallar como se ha implementado el sistema de suelo radiante en TRNSYS, concretamente en el *Simulation Studio*.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, si no hay una demanda de ACS pero sí de climatización la válvula de climatización se activa. Una vez activada va a distribuir el caudal de agua al sistema que corresponda. Primero, se va a empezar explicando la implementación del sistema de calefacción mediante suelo radiante.

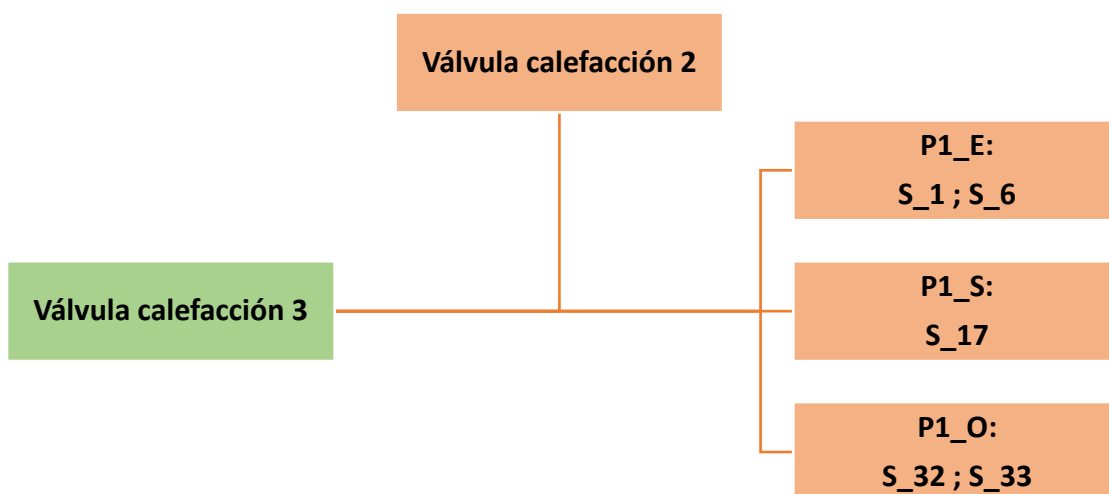
La vivienda estudiada tiene tres plantas y todas ellas disponen de sistema de calefacción mediante suelo radiante. Para asegurar que el agua caliente llega a todos ellos se ha decidido implementar tres válvulas. El nombre de cada división de suelo radiante viene definido en el modelo de TRNBuild y ese nombre no se puede modificar. El nombre dado por TRNBuild sigue el siguiente formato: S\_Nº; S se refiere a superficie y el número que lo acompaña especifica cuál de ellas. La secuencia de estas válvulas es la siguiente:

- La primera válvula recibe todo el caudal de agua proveniente de la válvula de climatización. Esta primera válvula tiene como función distribuir el fluido por los suelos radiantes del sótano y enviar el restante a la siguiente válvula. Reparte el fluido por todos los suelos radiantes de todas las zonas térmicas del sótano, para una mejor comprensión, se adjunta la Figura 42:



*Figura 42. Diagrama con el proceso de distribución de la válvula de calefacción 1. Fuente: Propia.*

- La segunda válvula recibe el caudal de agua sobrante de la primera válvula y lo distribuye por los suelos radiantes de la primera planta. Esta segunda válvula también manda el caudal de agua restante a otra válvula, que sería hacia la tercera. En la Figura 43 se puede observar el proceso de distribución:



*Figura 43. Diagrama con el proceso de distribución de la válvula de calefacción 2. Fuente: Propia.*

- La tercera válvula distribuye el caudal sobrante de la segunda válvula por los suelos radiantes de la segunda planta. Se puede observar el proceso de distribución que sigue en la Figura 44:

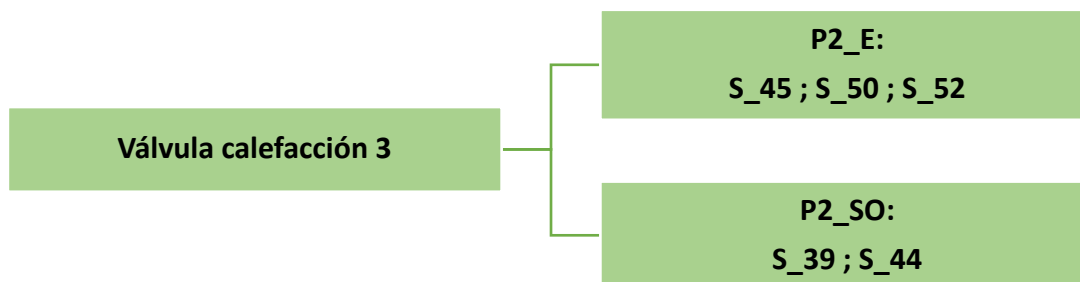


Figura 44. Diagrama con el proceso de distribución de la válvula de calefacción 3. Fuente: Propia.

Se sigue la misma estrategia para el retorno del fluido del suelo radiante hasta la bomba de calor. Se implementan tres válvulas de retorno, cada una de ellas va a recoger el agua de retorno de cada una de las plantas.

En primer lugar, la válvula de retorno de la calefacción 1 tiene como función recoger el agua de retorno procedente de la primera planta y dirigirla a la válvula de retorno de calefacción 2, la cual recibe el caudal procedente de la primera válvula y el caudal de retorno de la planta baja. Finalmente, la segunda válvula distribuye el caudal de retorno de la planta baja y de la primera planta a la válvula de retorno de calefacción 3, la cual acaba de recoger el caudal de retorno del sótano y lo distribuye hasta la válvula de retorno del sistema de climatización explicada anteriormente. Los *types* usados para simular las válvulas son el *type* 647 para las válvulas de distribución del fluido a la vivienda y el *type* 649 para las válvulas de retorno del fluido.

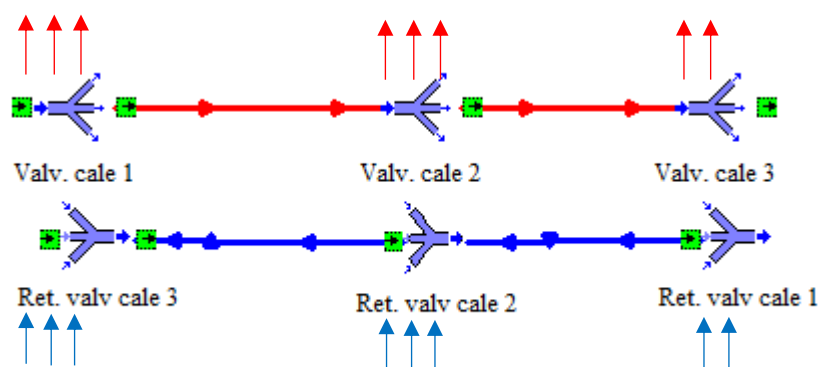


Figura 45. Sistema de válvulas del conjunto del sistema de calefacción implementado en TRNSYS. Fuente: TRNSYS.

Tal y como se puede observar en la Figura 45, las válvulas que tienen como función asegurar que el caudal llegue hasta los suelos radiantes de la vivienda están conectadas mediante líneas rojas, en cambio, las válvulas encargadas del retorno del fluido están unidas mediante líneas azules. Se han escogido estos colores ya que en el primer caso el fluido que circula por las válvulas es el fluido caliente, en cambio, el fluido que circula por las válvulas de retorno es el fluido enfriado ya que ha perdido temperatura al dar calor a la vivienda. Las flechas pequeñas que salen (de color rojo) de las válvulas y las que entran (de color azul), hacen referencia al fluido que corresponde a los suelos radiantes de cada zona térmica.

El parámetro introducido en las válvulas de ida (*type 647*) es el número de puertos de salida de la válvula. En cambio, para las válvulas de retorno (*type 649*), el parámetro introducido es el número de puertos de entrada. Los valores introducidos se encuentran en la Tabla 48 y la Tabla 49 respectivamente:

*Tabla 48. Tabla con los parámetros introducidos en las válvulas de calefacción de ida.*

Válvula	Nº puertos de salida
Válvula de calefacción 1	4
Válvula de calefacción 2	6
Válvula de calefacción 3	5

*Tabla 49. Tabla con los parámetros introducidos en las válvulas de retorno del sistema de calefacción. Fuente: propia.*

Válvula	Nº puertos de entrada
Retorno válvula de calefacción 1	5
Retorno válvula de calefacción 2	6
Retorno válvula de calefacción 3	4

- **Cálculos de los caudales**

Para implementar correctamente el sistema de válvulas para la distribución del agua caliente es necesario calcular primero el caudal que debe pasar por cada superficie de suelo. El suelo radiante está dimensionado para que circule el mismo caudal unitario ( $\text{kg/h}\cdot\text{m}^2$ ) por todas las superficies. Para conocer el caudal unitario se ha aplicado la fórmula (Eq. 8):

$$(Eq. 8) \quad \text{Caudal unitario } \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}\cdot\text{m}^2}\right) = \frac{\text{Caudal Bomba Calor}}{\text{Superficie Total}} = \frac{2616 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{231,626 \text{ m}^2} = 11,294 \frac{\text{kg}}{\text{h}\cdot\text{m}^2}$$

Dónde el caudal de la bomba de calor es el caudal proporcionado por ella y la superficie total hace referencia a los m<sup>2</sup> totales de suelo radiante que se encuentran en la vivienda. Para calcularlos se aplica la fórmula (Eq. 9):

$$(Eq. 9) \quad \text{Caudal necesario} \left( \frac{kg}{h} \right) = \text{Superficie} (m^2) \cdot \text{Caudal unitario} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Una vez calculado el caudal unitario se procede a calcular el caudal total que debe circular por cada superficie de suelo radiante. En la Tabla 50 se muestran los resultados:

Tabla 50. Tabla con el valor de caudal unitario y los valores de caudal necesarios para cada división de suelo radiante de la vivienda. Fuente: propia.

SUELOS			Superficie (m²)	Caudal unitario (kg/h· m²)	Caudal necesario (kg/h)
RAD_GROUNDFLOOR	P0_N	S1	20,41	11,29	230,51
	P0_S	S1	67,13	11,29	758,17
	P0_O	S1	28,71	11,29	324,25
RAD_Techo_SÓTANO_SUELO_P1	P1_E	S1	18,27	11,29	206,34
		S2	36,56	11,29	412,91
	P1_S	S1	13,92	11,29	157,21
	P1_O	S1	10,49	11,29	118,47
		S2	2,13	11,29	24,05
	RAD_TechOP1_SUELOP2	P2_SO	S1	8,65	11,29
S2			5,41	11,29	61,10
P2_E		S1	5,07	11,29	57,26
		S2	5,27	11,29	59,51
		S3	9,61	11,29	108,53

Tal y como se ha explicado anteriormente, cada válvula distribuye a una planta distinta. Para saber el caudal de distribución total para cada planta, se suman los caudales totales necesarios de todas las divisiones de suelo radiante correspondientes a la planta en cuestión.

Las válvulas de distribución requieren el input en forma de fracción, así que se ha calculado el porcentaje de caudal que debe circular por cada división de suelo radiante dependiendo de la superficie de este. Primero se ha calculado el porcentaje del caudal de distribución para cada planta utilizando la (Eq. 10):

$$(Eq. 10) \quad \text{Caudal distribución} (\%) = \text{Caudal distribución} \left( \frac{kg}{h} \right) \cdot \frac{\text{Caudal entrada planta} (\%)}{\text{Caudal entrada planta} \left( \frac{kg}{h} \right)}$$



Finalmente, para calcular el porcentaje de fluido que debe circular por cada división de suelo se aplica la (Eq. 11):

$$(Eq. 11) \quad \text{Fluido suelo radiante (\%)} = \text{Superficie suelo rad. (m}^2\text{)} \cdot \frac{\text{Caudal distribución (\%)}}{\text{Superficie total planta(m}^2\text{)}}$$

En la Tabla 51, Tabla 52 y Tabla 53 se muestran los resultados:

Tabla 51. Tabla con los resultados correspondientes a los suelos radiantes de la P0.

Zonas P0	Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficie total P0 (m <sup>2</sup> )	Caudal entrada P0 (kg/h)	Caudal distribución P0 (kg/h)	% Caudal distribución P0	% Caudal suelo radiante	% Caudal restante
P0_N	20,41	116,25	2616	1313	50,18	8,82	49,82
P0_S	67,13					28,98	
P0_O	28,71					12,39	

Tabla 52. Tabla con los resultados correspondientes a los suelos radiantes de la P1.

Zonas P1	Division suelo radiante	Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficie total P1 (m <sup>2</sup> )	Caudal entrada P1 (kg/h)	Caudal distribución P1 (kg/h)	% Caudal Distribución P1	% Caudal Suelo radiante	% Caudal restante
P1_E	S1	18,27	81,37	1303,1	919	70,53	15,83	29,47
	S2	36,56					31,69	
P1_S	S1	13,92					12,06	
P1_O	S1	10,49					9,09	
	S2	2,13					1,84	

Tabla 53. Tabla con los resultados correspondientes a los suelos radiantes de la P2.

Zonas P2	Divisiones suelo radiante	Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficie total (m <sup>2</sup> )	Caudal entrada P2 (kg/h)	Caudal distribución P2 (kg/h)	% Caudal Distribución P2	% Caudal Suelo radiante
P2_SO	S1	8,65	34,01	384	384	100	25,43
	S2	5,41					15,91
P2_E	S1	5,07					14,91
	S2	5,27					15,49
	S3	9,61					28,25

La simulación final que comprende el suelo radiante queda implementada como se muestra en la Figura 46 :

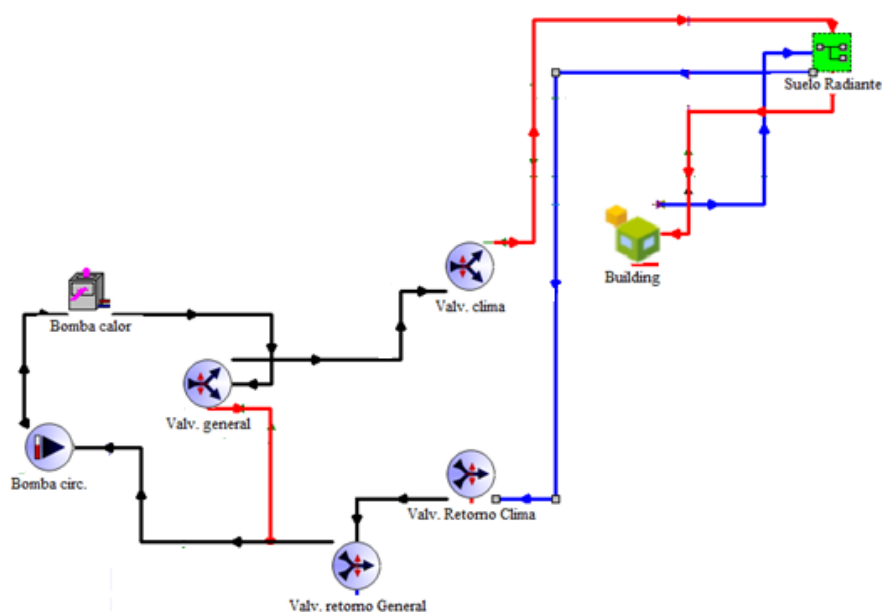


Figura 46. Vista de la implementación del sistema de suelo radiante en el Simulation Studio.

#### 4.4.3.1.2 Suelo radiante: TRNBuild

Para poder implementar el suelo radiante se ha modificado la composición de los suelos de la vivienda desde TRNBuild. Antes de poder realizar la simulación es necesario que los suelos cuenten con el suelo radiante.

El suelo radiante se implementa insertando una capa activa (*active layer*) entre las capas del suelo. Se llama capa activa porque contiene tuberías donde circula un fluido con el objetivo de transferir o eliminar calor a una superficie. Para crear la capa activa basta con ir al “Layer Type Manager” de TRNBuild y especificar sus características, tal y como se observa en la Figura 47:

The screenshot shows the "Layer Type Manager" window. At the top, the "layer type:" dropdown is set to "ACTIVE". Below this, under the "Building" section, there are four radio buttons: "Massive Layer", "Massless Layer", "Active Layer" (which is selected), and "Chilled Ceiling". Under the "Active Layer" section, there are several input fields: "specific heat coefficient of water:" with a value of 4.18 kJ / kg K, "pipe spacing (center to center):" with a value of 0.2 m, "pipe outside diameter:" with a value of 0.016 m, "pipe wall thickness:" with a value of 0.0018 m, and "pipe wall conductivity:" with a value of 1.62 kJ / h m K. There is also an "expert mode" checkbox which is currently unchecked.

Figura 47. Características de la capa activa. Fuente: TRNSYS.

Todos los valores introducidos se han extraído del catálogo del suelo radiante [41].

Se deben introducir en TRNBuild las siguientes características:

- *Specific heat coefficient of water*: Es necesario introducir el coeficiente de calor específico del agua, en kJ/kgK. El valor introducido es: 4,18 kJ/kgK.
- *Pipe spacing (center to center)*: El *pipe spacing* es la distancia que hay entre los centros de dos tubos consecutivos, en metros. El valor introducido es de 2 m.
- *Pipe outside diameter*: El diámetro exterior de la tubería en metros. El valor introducido es de 0,016 m.
- *Pipe wall thickness*: El grosor de la pared de la tubería en metros. El valor introducido es de 0,0018 m.

- *Pipe wall conductivity*: La conductividad térmica de la pared de la tubería, en kJ/hmK. El valor introducido es de 1,62 kJ/hmK.

Para asegurar que el sistema de suelo radiante funcione TRNBuild establece las siguientes condiciones [49] de la (Eq. 12):

$$(Eq. 12) \quad \text{grosor capa adyacente} \geq 0,3 * \text{pipe spacing}$$

Es necesario que el grosor de la capa de material adyacente a la capa activa sea superior a  $0,3 * \text{pipe spacing}$ . También es necesario que la composición del suelo tenga una resistencia de al menos  $0,825 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Una vez creada la capa activa es necesario asignarla a los suelos correspondientes. A partir de los suelos creados en el TFG de referencia [1] se ha creado el suelo radiante y se ha modificado su nombre. En la Tabla 54 se encuentra la lista con los nombres de los suelos y a qué planta de la vivienda se implementan:

Tabla 54. Tabla con los nombres y la ubicación de los suelos radiantes a implementar. Fuente: propia.

Nombre suelo radiante	Ubicación
RAD_GROUNDFLOOR	Sótano
RAD_SÓTANO_TECHO_P1	Planta baja
RAD_TECHOP1_SUELOP2	Primera planta

En todos los suelos radiantes la capa activa se ha colocado entre los morteros. En la Figura 48, la Figura 49 y la Figura 50 se observa la composición de los suelos radiantes:

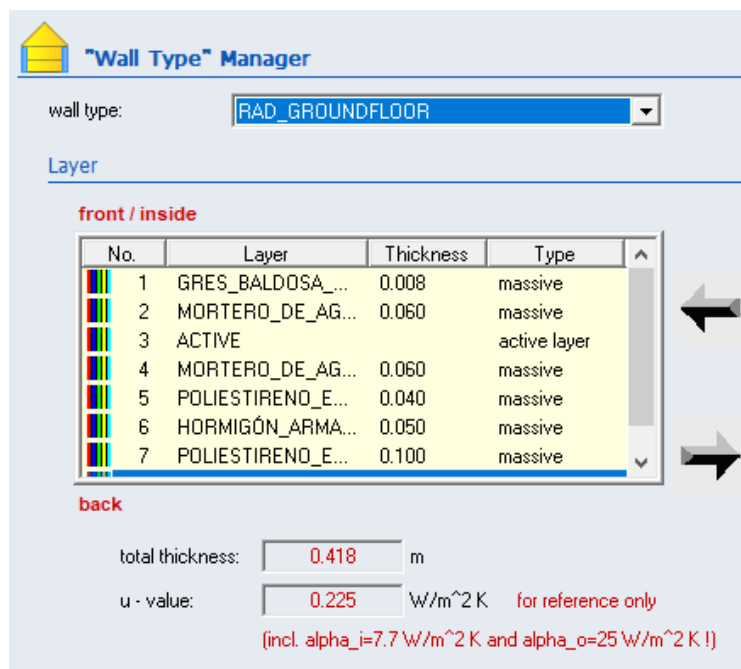


Figura 48. Composición del suelo RAD\_GROUNDLOOR. Fuente: TRNSYS.

**"Wall Type" Manager**

wall type: **RAD\_Techo\_SÓTANO\_SUELO\_P1**

Layer

**front / inside**

No.	Layer	Thickness	Type
1	GRES_BALDOSA_...	0.080	massive
2	MORTERO_DE_AG...	0.060	massive
3	ACTIVE		active layer
4	MORTERO_DE_AG...	0.060	massive
5	POLIESTIRENO_E...	0.040	massive
6	FORJADO	0.100	massive
7	ENLUCIDO_DE_YE...	0.015	massive

**back**

total thickness: **0.405** m

u - value: **0.553** W/m<sup>2</sup> K for reference only  
(incl. alpha<sub>i</sub>=7.7 W/m<sup>2</sup> K and alpha<sub>o</sub>=25 W/m<sup>2</sup> K !)

Figura 49. Composición del suelo RAD\_Techo\_SÓTANO\_SUELO\_P1. Fuente: TRNSYS.

**"Wall Type" Manager**

wall type: **RAD\_TechoP1\_SUELOP2**

Layer

**front / inside**

No.	Layer	Thickness	Type
1	GRES_BALDOSA_...	0.080	massive
2	MORTERO_DE_AG...	0.060	massive
3	ACTIVE		active layer
4	MORTERO_DE_AG...	0.060	massive
5	POLIESTIRENO_E...	0.040	massive
6	FORJADO	0.100	massive
7	PLACA_DE_YESO_...	0.050	massive

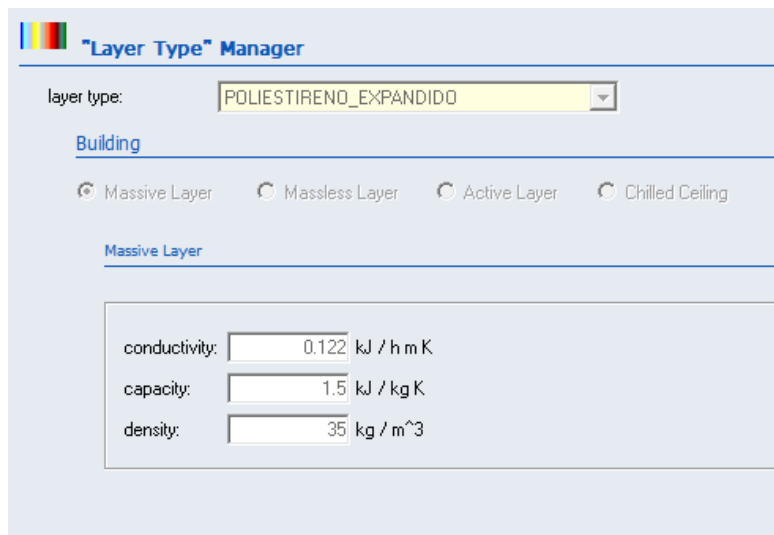
**back**

total thickness: **0.390** m

u - value: **0.579** W/m<sup>2</sup> K for reference only  
(incl. alpha<sub>i</sub>=7.7 W/m<sup>2</sup> K and alpha<sub>o</sub>=25 W/m<sup>2</sup> K !)

Figura 50. Composición del suelo RAD\_TechoP1\_SUELOP2.

Tal y como se muestra en la Figura 48 y la Figura 49, el suelo radiante también tiene una capa de aislamiento. El aislamiento utilizado es el poliestireno expandido y es el mismo en todos los suelos. Sus características se pueden observar en la Figura 51:



The screenshot shows the 'Layer Type' Manager window. At the top, there is a dropdown menu for 'layer type' set to 'POLIESTIRENO\_EXPANDIDO'. Below this, there are four radio buttons: 'Massive Layer' (selected), 'Massless Layer', 'Active Layer', and 'Chilled Ceiling'. Under the 'Massive Layer' section, there are three input fields: 'conductivity' with a value of 0.122 kJ / h m K, 'capacity' with a value of 1.5 kJ / kg K, and 'density' with a value of 35 kg / m^3.

Figura 51. Características del aislamiento POLIESTIRENO\_EXPANDIDO. Fuente: TRNSYS.

Como se ha comentado anteriormente, una zona térmica puede agrupar más de una estancia de la vivienda. Algunas zonas térmicas tienen el suelo dividido, es decir, el suelo de la zona térmica no es representado por un único suelo sino por múltiples. En estos casos es necesario asignar el suelo radiante en cada uno de los suelos de la zona térmica.

Se asigna el suelo radiante a los diferentes suelos de cada zona térmica mediante TRNBuild. TRNBuild asigna un nombre a cada suelo el cual no puede ser modificado por el usuario. En la Figura 52 se muestra cómo se asigna el suelo radiante y también cómo se muestran los suelos múltiples en una misma zona térmica.

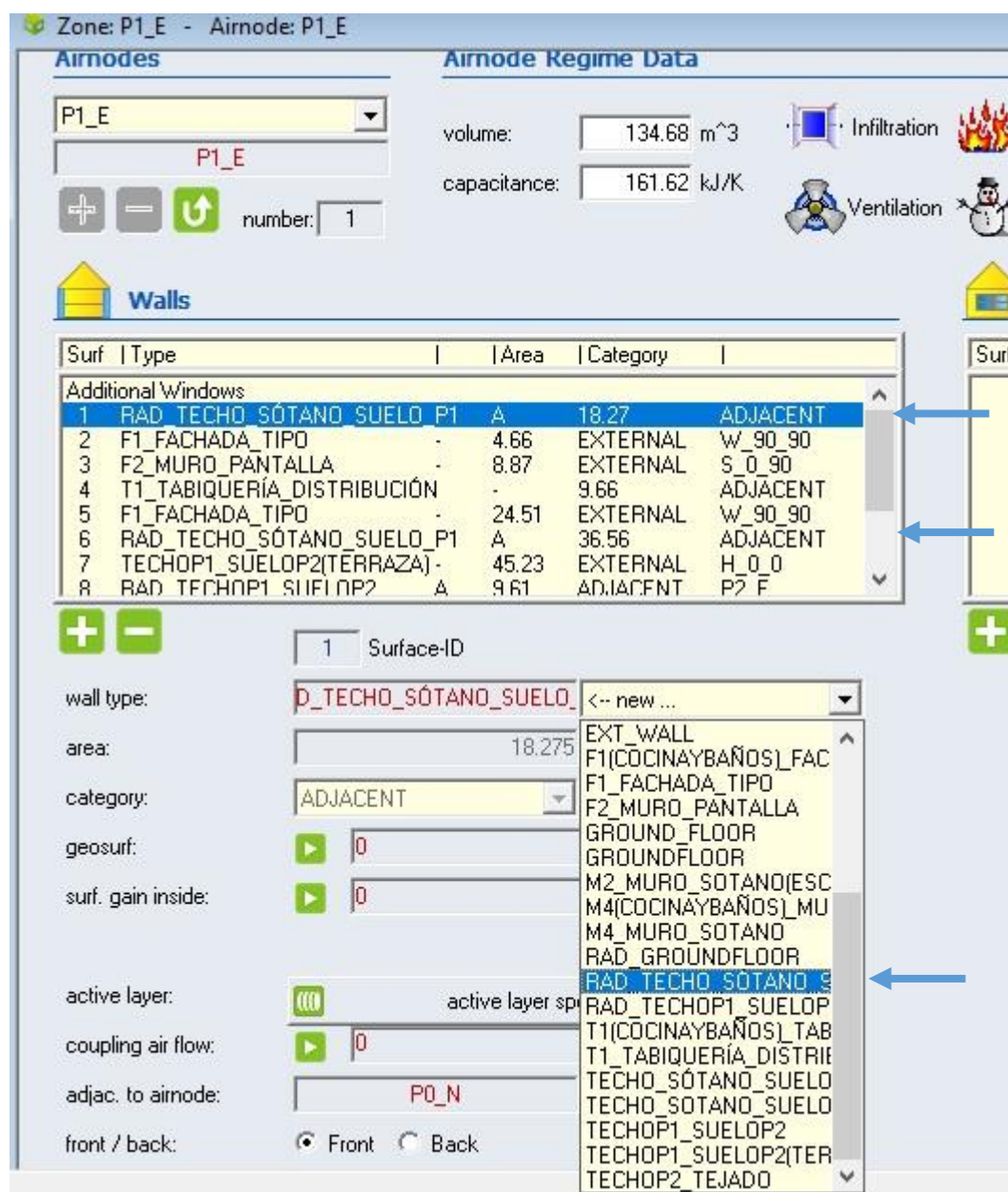


Figura 52. Asignación de suelos radiantes en TRNBuild. Fuente: TRNSYS.

Cada una de las divisiones de los suelos radiantes dispone de dos variables que serán introducidas como inputs. Estas dos variables son el caudal y la temperatura del agua de entrada del suelo radiante. Para definir estas variables es necesario crear inputs en TRNBuild y asignar éstos a la especificación de la capa activa. En la Figura 53 se muestra cómo se crean los inputs en TRNBuild y en la Figura 53 se muestra cómo se asignan:

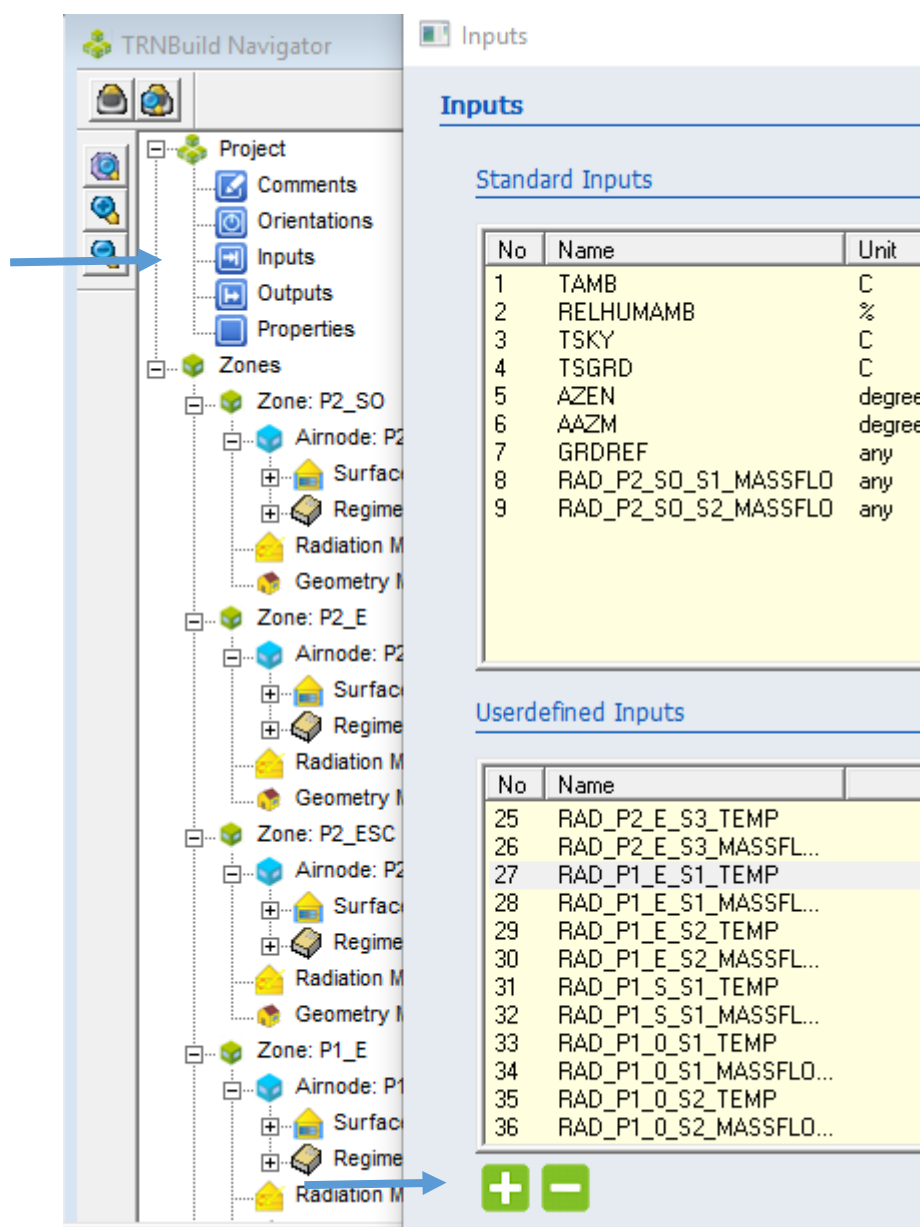


Figura 53. Menú INPUTS en TRNBuild.

Para acceder al menú de inputs en TRNBuild se siguen las instrucciones mostradas en la Figura 53. Para añadir un nuevo input se selecciona el botón de más y sale un cuadro de texto dónde se introduce el nombre deseado del input que se quiera crear. Tal y como se ha mencionado previamente, los inputs necesarios son de caudal y de temperatura, con unidades de kg/h y °C respectivamente. El formato del nombre para estos inputs por el que se ha optado ha sido el siguiente: RAD\_PLANTA\_ZONA\_SUELO\_VARIABLE. RAD indica que corresponde al suelo radiante, PLANTA hace referencia a qué piso de la vivienda corresponde (P0, P1 o P2), SUELO hace referencia a qué división de suelo corresponde (1,2 o 3) y VARIABLE indica cuál de las dos variables es. En la Tabla 55 se encuentran algunos inputs, no se han añadido todos ya que todos siguen el formato establecido:



Tabla 55. Tabla con inputs de caudal y temperatura correspondientes al suelo radiante.

INPUTS	
RAD_P2_SO_S1_TEMP	RAD_P2_SO_S1_MASSFLOW
RAD_P2_SO_S2_TEMP	RAD_P2_SO_S2_MASSFLOW
RAD_P1_E_S1_TEMP	RAD_P1_E_S1_MASSFLOW
RAD_P0_N_TEMP	RAD_P0_N_MASSFLOW

Una vez creados los inputs se procede a asignarlos a los suelos radiantes. Es necesario remarcar que cada división de suelo tendrá sus propios inputs, aunque pertenezcan a la misma zona térmica. Para asignar los inputs al suelo radiante de cada división de suelo se accede al menú de la zona térmica deseada, se selecciona el suelo en cuestión y se busca el apartado de *active layer: active layer specification*. En la Figura 54 se muestra el cuadro de diálogo que aparece al seleccionar la opción:

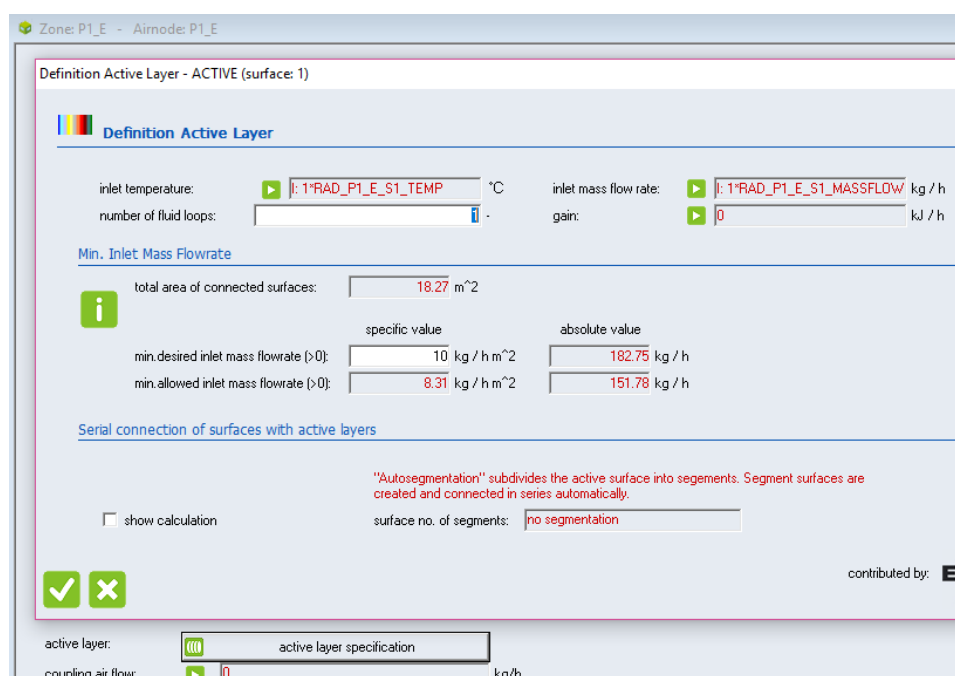


Figura 54. Menú de especificaciones de la capa activa de una división de suelo en TRNBuild.

Tal y como se puede observar en la Figura 54, el menú de especificaciones de la capa activa pide que se introduzcan las dos variables previamente mencionadas: temperatura de entrada y caudal de agua de entrada, aquí es donde se asignan los inputs previamente creados. Es importante asegurar que los inputs introducidos concuerdan con la planta y la zona donde se encuentra el suelo radiante en cuestión. Esta herramienta también calcula el caudal mínimo que debe circular por el suelo radiante para que éste pueda ser operativo. Es necesario que el caudal deseado sea superior al caudal mínimo calculado por TRNBuild.

#### 4.4.3.1.3 Conexiones entre los componentes del sistema de suelo radiante

Una vez explicada la simulación del suelo radiante en el *Simulation Studio* y las modificaciones realizadas en TRNBuild para implementarlo, se procede a explicar las conexiones del suelo radiante. Se van a ir explicando las conexiones siguiendo el circuito que realiza el fluido, empezando desde la bomba de calor y finalizando otra vez en la bomba de calor. Las conexiones de los componentes generales ya se han explicado previamente, así que se va a proceder a explicar las conexiones a partir de la válvula de climatización.



Figura 55. Conexiones entre la válvula de climatización y la válvula de calefacción 1.

Tabla 56. Tabla con las conexiones de la válvula de climatización y la válvula de calefacción 1.

Conexiones Válvula climatización → Válvula calefacción 1		
Outputs válvula climatización	Inputs válvula calefacción 1	Unidades
Temperatura en la salida 1	Temperatura de entrada	°C
Caudal de la salida 1	Caudal de entrada	kg/hr

En la Figura 56 se observan las conexiones entre las válvulas de calefacción. La figura es la misma para las conexiones de la válvula de calefacción 1 a la 2 y las conexiones de la válvula de calefacción 2 a la 3:

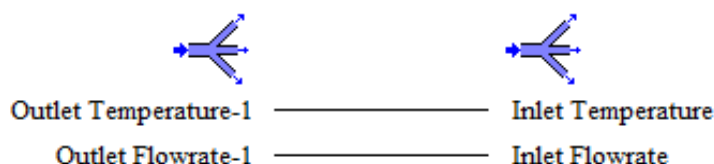


Figura 56. Conexiones entre las válvulas de calefacción.

Tabla 57. Tabla con las conexiones de la válvula de calefacción 1 y la válvula de calefacción 2.

Conexiones Válvula calefacción 1 → Válvula calefacción 2		
Outputs válvula calefacción 1	Inputs válvula calefacción 2	Unidades
Temperatura en la salida 1	Temperatura de entrada	°C
Caudal de la salida 1	Caudal de entrada	kg/hr

Tabla 58. Tabla con las conexiones de la válvula de calefacción 2 y la válvula de calefacción 3.

Conexiones Válvula calefacción 2 → Válvula calefacción 3		
Outputs válvula calefacción 2	Inputs válvula calefacción 3	Unidades
Temperatura en la salida 1	Temperatura de entrada	°C
Caudal de la salida 1	Caudal de entrada	kg/hr

- **Conexiones entre el sistema de calefacción → vivienda**

Una vez explicadas las conexiones entre los componentes del sistema de calefacción, se procede a explicar las conexiones del sistema de calefacción con la vivienda (*type 56*).

*Tal y como se puede observar en la Figura 45, el sistema de calefacción está conectado a la vivienda a través de las válvulas de calefacción. Una explicada la estrategia de distribución de cada válvula de calefacción, falta especificar las conexiones entre las válvulas y el type 56 correspondiente al modelo de la vivienda. En la Tabla 59, Tabla 60 y*

Tabla 61 se muestran las conexiones de cada una de las válvulas de calefacción con la vivienda:

*Tabla 59. Tabla con las conexiones entre la válvula de calefacción 1 y el type 56.*

Conexiones Válvula calefacción 1 → Type 56		
Outputs válvula calefacción 1	Inputs type 56	Unidades
Temperatura en la salida 2	RAD_P0_N_S1_TEMP	°C
Caudal de la salida 2	RAD_P0_N_S1_MASSFLOW	kg/hr
Temperatura en la salida 3	RAD_P0_S_S1_TEMP	°C
Caudal de la salida 3	RAD_P0_S_S1_MASSFLOW	kg/hr
Temperatura en la salida 4	RAD_P0_O_S1_TEMP	°C
Caudal de la salida 4	RAD_P0_O_S1_MASSFLOW	kg/hr

*Tabla 60. Tabla con las conexiones entre la válvula de calefacción 2 y el type 56.*

Conexiones Válvula calefacción 2 → Type 56		
Outputs válvula calefacción 2	Inputs type 56	Unidades
Temperatura en la salida 2	RAD_P1_E_S1_TEMP	°C
Caudal de la salida 2	RAD_P1_E_S1_MASSFLOW	kg/hr
Temperatura en la salida 3	RAD_P1_E_S2_TEMP	°C
Caudal de la salida 3	RAD_P1_E_S2_MASSFLOW	kg/hr
Temperatura en la salida 4	RAD_P1_S_S1_TEMP	°C
Caudal de la salida 4	RAD_P1_S_S1_MASSFLOW	kg/hr
Temperatura en la salida 5	RAD_P1_O_S1_TEMP	°C
Caudal de la salida 5	RAD_P1_O_S1_MASSFLOW	kg/hr
Temperatura en la salida 6	RAD_P1_O_S2_TEMP	°C
Caudal de la salida 6	RAD_P1_O_S2_MASSFLOW	kg/hr

Tabla 61. Tabla con las conexiones entre la válvula de calefacción 3 y el type 56.

Conexiones Válvula calefacción 3 → Type 56		
Outputs válvula calefacción 3	Inputs type 56	Unidades
Temperatura en la salida 1	RAD_P2_SO_S1_TEMP	°C
Caudal de la salida 1	RAD_P2_SO_S1_MASSFLOW	kg/hr
Temperatura en la salida 2	RAD_P2_SO_S2_TEMP	°C
Caudal de la salida 2	RAD_P2_SO_S2_MASSFLOW	kg/hr
Temperatura en la salida 3	RAD_P2_E_S1_TEMP	°C
Caudal de la salida 3	RAD_P2_E_S1_MASSFLOW	kg/hr
Temperatura en la salida 4	RAD_P2_E_S2_TEMP	°C
Caudal de la salida 4	RAD_P2_E_S2_MASSFLOW	kg/hr
Temperatura en la salida 5	RAD_P2_E_S3_TEMP	°C
Caudal de la salida 5	RAD_P2_E_S3_MASSFLOW	kg/hr

#### 4.4.3.2. Sistema refrigeración mediante Fancoils

El sistema de refrigeración mediante fancoils se encuentra en las mismas estancias que el suelo radiante. Se ha realizado la implementación del sistema de refrigeración en la vivienda mediante TRNBuild y *Simulation Studio*.

##### 4.4.3.2.1 Fancoils: Simulation Studio

Para empezar, se va a explicar cómo se ha implementado el sistema de fancoils en TRNSYS, concretamente en el *Simulation Studio*. El sistema de fancoils se va a activar cuando exista una demanda de refrigeración y no de ACS. La vivienda consta de 4 fancoils distribuidos de la siguiente forma: un fancoil cubre la demanda de la primera planta, otro la de la planta baja y finalmente dos fancoils cubren la demanda de refrigeración del sótano. Cabe especificar que no todos los fancoils tienen las mismas características técnicas ya que cada fancoil debe cubrir en función de la demanda de cada planta, solo dos de ellos comparten las mismas especificaciones. En la Tabla 62 se muestra la distribución:

Tabla 62. Distribución de los fancoils con sus respectivos nombres utilizados en el Simulation Studio.

Nombre	Distribución
FC_P0_R	Sótano: Zona P0_O y la mitad de la zona P0_S.
FC_P0_L	Sótano: Zona P0_N y la mitad de la zona P0_S.
FC_P1	Toda la P1.
FC_P2	Toda la P2.

Tal y como se ha especificado anteriormente, la bomba de calor trabaja con un caudal de 2616 kg/h. El caudal de agua que debe circular por el sistema de refrigeración para cumplir con las condiciones de funcionamiento de los fancoils es menor, concretamente de 1657 kg/h. Es necesario asegurar que por el circuito de los fancoils circula el caudal de agua nominal y para cumplir con ello se decide introducir la válvula de refrigeración, la cual se encarga de distribuir el caudal de 1657 kg/h hasta la válvula de distribución de los fancoils y distribuye el caudal restante hasta la válvula de retorno del sistema de refrigeración. En la Figura 57 se muestra el esquema en el *Simulation Studio*:

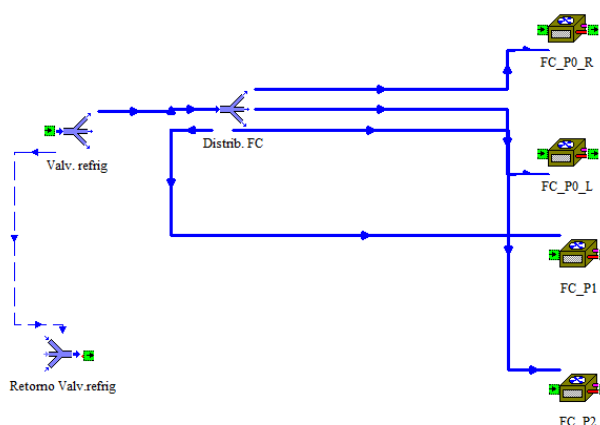


Figura 57. Esquema del sistema de distribución implementado para el sistema de refrigeración mediante fancoils. Fuente: TRNSYS.

El *type* utilizado para las válvulas del sistema de refrigeración es el mismo que el usado en el sistema de calefacción. Referente a los fancoils, el *type* utilizado es el 928. Se muestran los valores de los parámetros introducidos en cada componente en la Tabla 63 y la Tabla 64:

Tabla 63. Valores de los parámetros de las válvulas de refrigeración y de distribución del sistema de fancoils introducidos en TRNSYS.

Válvula	Nº puertos de salida
Válvula de refrigeración	2
Válvula de distribución	4

Tabla 64. Valores de los parámetros de los fancoils del sistema de refrigeración introducidos en TRNSYS.

Fancoils	Potencia nominal (kW)	Caudal de aire nominal (m <sup>3</sup> /hr)
FC_P0_R	1,9	535
FC_P0_L	1,15	315
FC_P1	2,69	830
FC_P2	1,9	535

Los fancoils se conectan con la vivienda, es decir con el *type* 56, para proporcionarle el aire frío. Para poder realizar la conexión es necesario introducir un nuevo elemento a la simulación, la calculadora. La calculadora sirve para crear ecuaciones y permite su conexión con los outputs e inputs que se desee.

Es necesario introducir una ecuación en la simulación del sistema de refrigeración ya que como se ha mencionado antes, cada fancoil se encarga de cubrir la demanda de ciertas zonas térmicas. Cada una de las zonas térmicas tiene una superficie distinta, así que dependiendo de la superficie le va a llegar más o menos aire frío proveniente de los fancoils. Entonces es necesario conectar cada zona térmica con el fancoil que le proporciona el aire frío y para hacerlo es necesario introducir una ecuación, ya que no permite conectar el output del caudal de aire del fancoil a más de una zona térmica de la vivienda.

Además de esta condición, también se debe asegurar que a cada zona térmica le llega el caudal de aire correspondiente, así que en la calculadora también sirve para multiplicar el caudal de aire proveniente del fancoil por el porcentaje correspondiente dependiendo de la zona térmica. El porcentaje se calcula partiendo de las superficies de las zonas térmicas, calculando qué porcentaje del caudal de aire que sale del fancoil pertenece a cada zona térmica de la vivienda.



Eq.FC-Building

Figura 58. Icono del componente calculadora en TRNSYS. Fuente: TRNSYS.

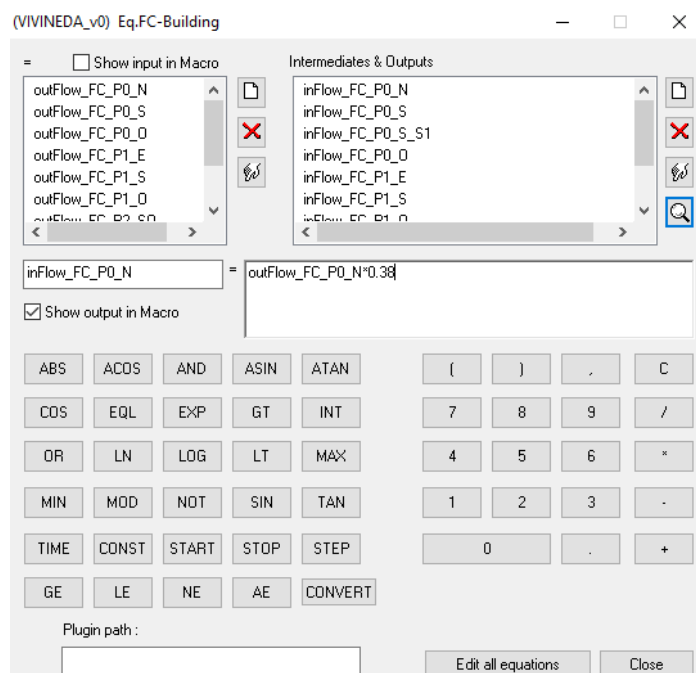


Figura 59. Menú de la calculadora donde se crean las ecuaciones con sus respectivos inputs. Fuente: TRNSYS.

Tal y como se puede observar en la Figura 59, en la calculadora se crean los outputs (lado izquierdo) y los inputs (lado derecho) que se van a utilizar para definir las ecuaciones. Se ha creado un input para cada zona térmica de la vivienda, 9 en total y siguen este formato: outFlow\_FC\_PLANTA\_ZONA. Los inputs tienen como conexión el caudal de aire de salida de cada fancoil, es decir, los inputs correspondientes a la P0 van a tener como conexión el fancoil encargado de distribuir el caudal de aire frío a esa planta. Referente a los outputs del componente, se crea un output también para cada zona térmica. Estos outputs son los que se van a conectar con la vivienda.

Para crear las ecuaciones, primero ha sido necesario calcular qué porcentaje de aire se dirige a cada zona. Para hacerlo se ha tenido en cuenta la relación con la superficie, primero se ha calculado la superficie de cada zona térmica sobre el total de la cubierta por cada fancoil. Para el caso de la P0\_S se ha dividido entre dos, ya que dos fancoils proporcionan aire a esa zona. Una vez obtenidos los resultados de la superficie, se procede a calcular su porcentaje, el cual se obtiene aplicando la siguiente fórmula (Eq. 13):

$$(Eq. 13) \quad Sup.Zona\ térmica\ (\%) = \frac{Sup.zona\ térmica\ (m^2) \cdot 100}{Total\ sup.cubierta\ fancoil\ (m^2)}$$

Una vez calculados los porcentajes en relación con la superficie de cada zona térmica, se procede a calcular el caudal de aire que le corresponde con la siguiente fórmula (Eq. 14):

$$(Eq. 14) \quad Caudal\ agua\ zona\ térmica\ \left(\frac{kg}{h}\right) = \frac{Caudal\ aire\ fancoil\ \left(\frac{kg}{h}\right) \cdot Sup.Zona\ térmica\ (\%)}{100}$$

Y finalmente para encontrar el porcentaje de caudal de aire que le debe llegar a cada zona térmica se aplica la siguiente fórmula (Eq. 15):

$$(Eq. 15) \quad \text{Caudal agua zona térmica (\%)} = \frac{\text{Caudal aire zona térmica } \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) \cdot 100}{\text{Total suma caudal aire todos fancoils } \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)}$$

En la Tabla 65 se muestran los resultados una vez aplicadas todas las fórmulas previamente mencionadas:

Tabla 65. Tabla con los resultados de los cálculos de porcentaje de superficie y caudal de aire para cada zona térmica.

Planta	Fancoil	Zona	Sup. (m²)	% Sup.	Caudal agua (kg/h)	% Caudal agua fancoil
P0	FC_P0_R	P0_O	28,71	46,1	198,24	11,96
		50 % P0_S	33,56	53,9	231,76	13,99
	TOTAL FC_P0_R		62,27	100	430	25,95
	FC_P0_L	P0_N	20,41	37,8	112,69	6,80
		50%P0_S	33,56	62,2	185,31	11,18
	TOTAL FC_P0_L		53,97	100	298	17,98
P1	FC_P1	Todas	81,37	100	631	38,09
P2	FC_P2	Todas	34,01	100	298	17,98

Una vez obtenidos los resultados ya se pueden completar las ecuaciones creadas en el componente calculadora, multiplicando cada input por el porcentaje que le corresponda (% caudal aire fancoil).

El porcentaje utilizado para calcular la ecuación en la calculadora se ha extraído de los valores correspondientes a la columna de % Sup, en cambio, el porcentaje utilizado para distribuir el fluido hacia los distintos fancoils se ha extraído de los valores de la columna % caudal agua fancoil. Ambos conjuntos de valores se pueden observar en la Tabla 65.

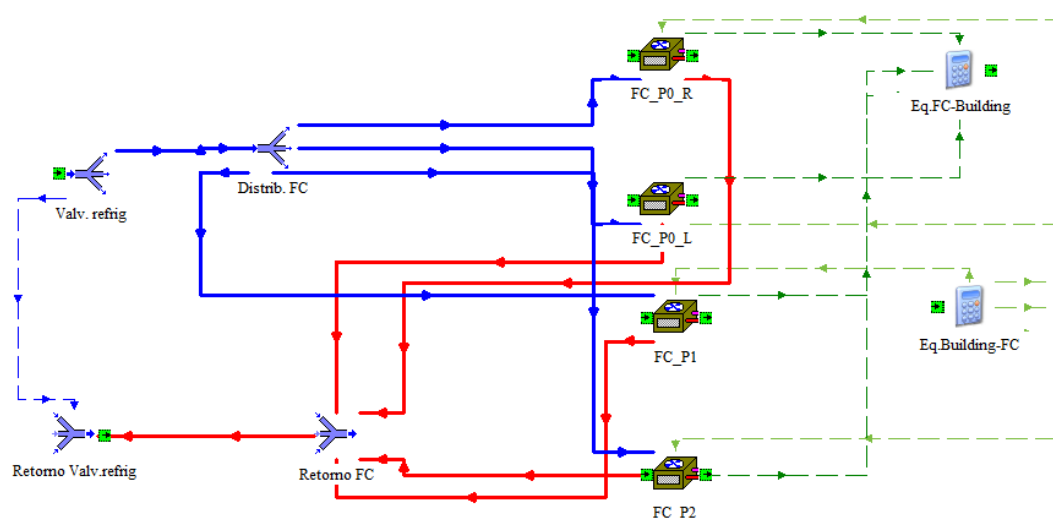
También es necesario introducir una segunda calculadora a la simulación para poder acabar de implementar el sistema de refrigeración en TRNSYS. Esta segunda calculadora es necesaria para poder conectar los outputs provenientes de la vivienda hasta los fancoils, estos outputs son la temperatura y la humedad de retorno, los cuales están detallados de forma más extensa en el apartado 4.4.3.2.2.

Estos outputs llegan hasta el fancoil ya que este obtiene una temperatura del aire y una humedad relativa de retorno, las cuáles son obtenidas directamente desde la vivienda. Dependiendo de la



superficie de cada zona térmica, la temperatura y la humedad relativa van a tener un peso distinto en el output final así que es necesario calcular la media ponderada correspondiente a la temperatura del aire y la humedad relativa provenientes de la vivienda

Finalmente, es necesario implementar el retorno del agua utilizada para proporcionar aire frío a la vivienda hasta la bomba de calor. A diferencia del sistema de calefacción, el fluido proporcionado por la bomba de calor no llega hasta la vivienda, ya que se queda dentro del circuito del sistema de refrigeración de los fancoils. Así pues, es necesario implementar una válvula que reciba el caudal de agua proveniente de cada uno de los cuatro fancoils. Se ha decantado por la misma válvula que la implementada para el retorno del sistema de calefacción, la correspondiente al *type 649*. Esta válvula recoge los caudales de retorno de cada fancoil y los distribuye hasta la válvula de retorno del sistema de refrigeración, dónde ahí se juntan con el caudal sobrante previamente desviado.



*Figura 60. Captura del Sistema de refrigeración simulado en TRNSYS. Fuente: TRNSYS.*

A continuación, se muestra en la Figura 61 se muestra la simulación una vez implementado todo el sistema de climatización:

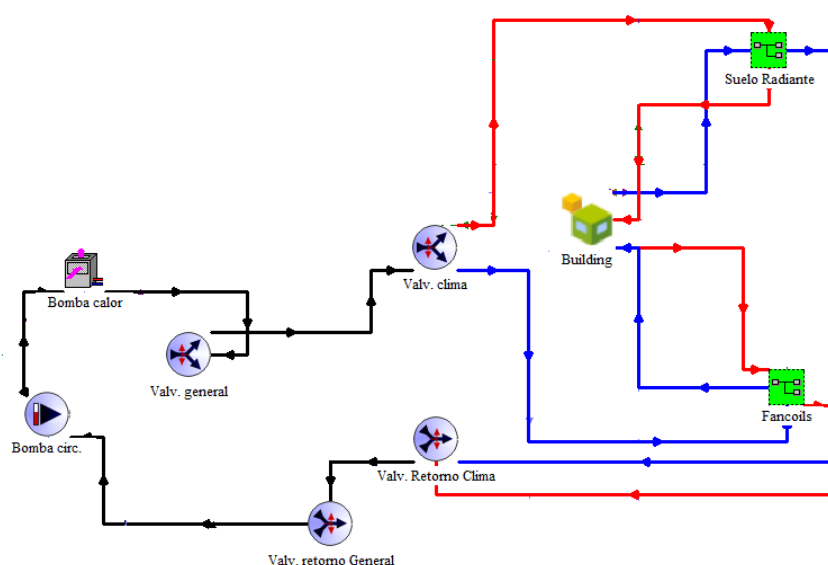


Figura 61. Captura de la simulación una vez implementado todo el sistema de climatización. Fuente: TRNSYS.

#### 4.4.3.2.2 Fancoils: TRNBuild

Además de implementar el sistema de refrigeración en el *Simulation Studio*, también es necesario realizar modificaciones en el modelo de la vivienda en TRNBuild. Para implementar el sistema de refrigeración es necesario especificar el tipo de ventilación de cada fancoil de la vivienda en TRNBuild. Es necesario ir al "Ventilation Type Manager" y crear la ventilación para cada zona:

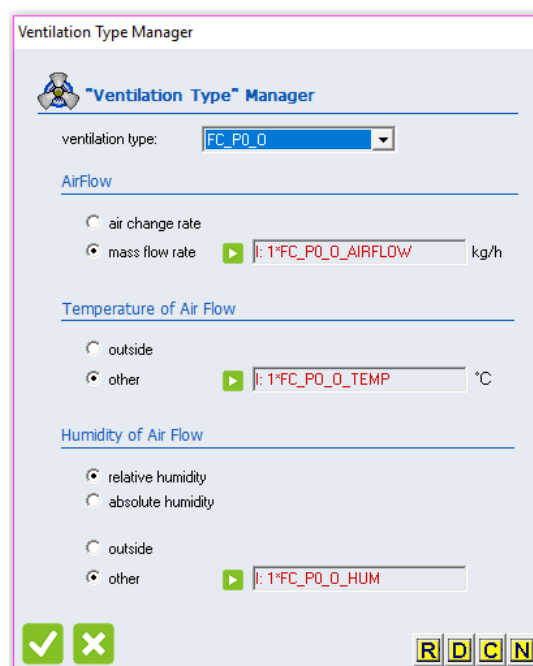


Figura 62. Ventana del menu del "Ventilation Type Manager" en TRNBuild. Fuente: TRNBuild.

Tal y como se puede observar en la Figura 62, al crear una ventilación es necesario asignar el caudal de aire en [kg/h], la temperatura del aire en [°C] y la humedad relativa del aire [%]. Estos parámetros serán introducidos como inputs, estos inputs se crean en TRNBuild siguiendo el mismo proceso que el detallado durante la explicación del suelo radiante en el apartado 4.4.3.1.2. Se crea un input de cada parámetro para cada una de las zonas térmicas de la vivienda. Los tres tipos de inputs que se han creado para una de las zonas térmicas de la vivienda, en concreto la zona P0\_O, en TRNBuild se pueden observar en la Tabla 66:

*Tabla 66. Tabla con los nombres de los parámetros introducidos como inputs para el sistema de refrigeración de la zona térmica P0\_O.*

INPUTS	
Parámetro	Nombre
Caudal del aire (kg/h)	FC_P0_O_AIRFLOW
Temperatura del aire (°C)	FC_P0_O_TEMP
Humedad relativa (%)	FC_P0_O_HUM

Además de especificar el tipo de ventilación de cada fancoil para cada zona térmica, también es necesario especificar la ventilación natural. La ventilación natural es usada por los miembros de la vivienda durante las noches (22h-8h) de verano para enfriar el hogar.

*Figura 63. Menú de los tipos de ventilación, concretamente con el de ventilación natural.*

Una vez creados todos los tipos de ventilación es necesario asignar cada tipo a su zona correspondiente, para hacerlo es necesario seleccionar la zona térmica y añadir los tipos de ventilación correspondientes accediendo al menú ventilación que se encuentra dentro de la zona térmica en cuestión, tal y como se muestra en la Figura 64:

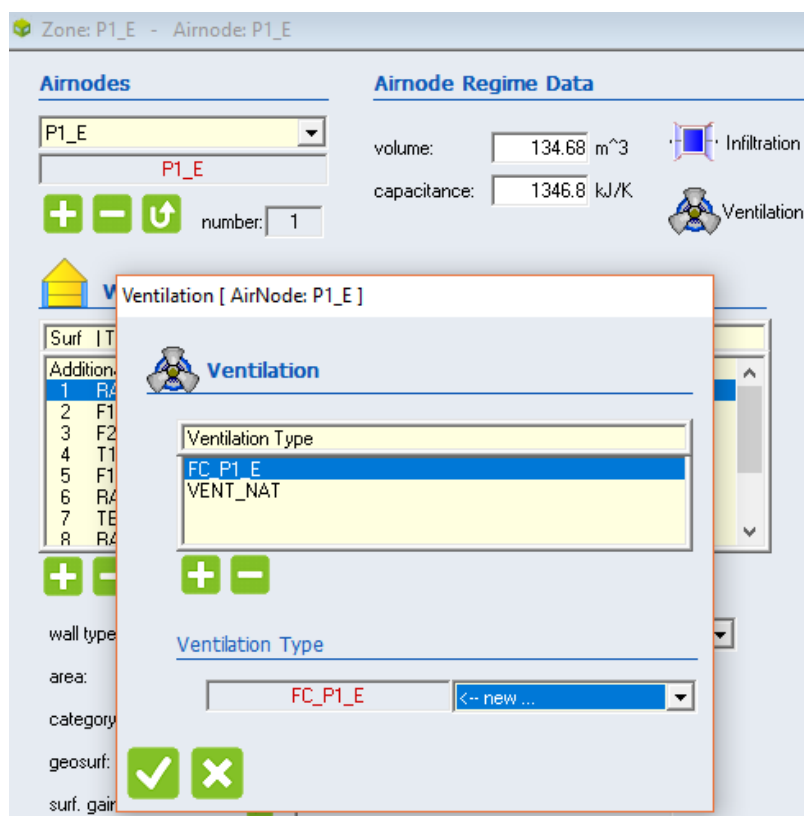


Figura 64. Asignación de los tipos de ventilación en la zona térmica P1\_E.

Es necesario que todas las zonas cuenten con los dos tipos de ventilación, ya que dependiendo de la hora del día se va a activar una u otra. Cabe especificar que el sistema de refrigeración se encuentra en todas las zonas térmicas menos en la escalera.

#### 4.4.3.2.3 Conexiones entre los componentes del sistema de refrigeración mediante fancoils

Una vez explicadas todas las modificaciones realizadas en TRNBuild y la implementación del sistema de refrigeración en el *Simulation Studio* se procede a explicar las conexiones entre los componentes.

Se va a seguir el mismo orden de explicación que el empleado durante la explicación previa del suelo radiante: se parte de la válvula de climatización y se termina en la bomba de calor.

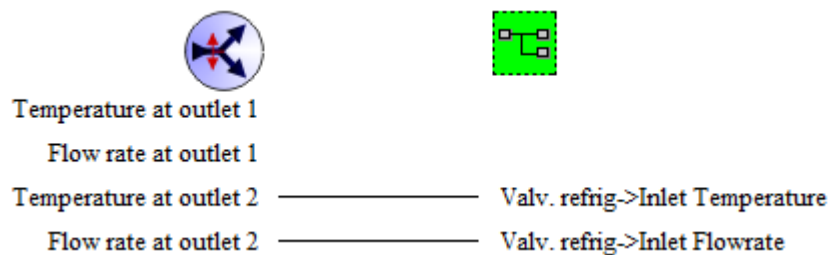


Figura 65. Conexiones entre la válvula de climatización y la válvula de refrigeración. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 67. Tabla con las conexiones de la válvula de climatización a la válvula de refrigeración.

Conexiones Válvula climatización → Válvula refrigeración		
Outputs válvula climatización	Inputs válvula refrigeración	Unidades
Temperatura en la salida 2	Temperatura de entrada	°C
Caudal de la salida 2	Caudal de entrada	kg/hr

A continuación, la válvula de refrigeración distribuye el caudal correspondiente a la válvula de distribución:



Figura 66. Conexiones entre la válvula de refrigeración y la válvula de distribución. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 68. Tabla con las conexiones de la válvula de refrigeración a la válvula de distribución.

Conexiones Válvula refrigeración → Válvula distribución		
Outputs válvula refrigeración	Inputs válvula distribución	Unidades
Temperatura en la salida 1	Temperatura de entrada	°C
Caudal de la salida 1	Caudal de entrada	kg/hr

A continuación, la válvula de distribución se encarga de repartir el fluido a los cuatro fancoils:

### 1. Fancoil FC\_PO\_R

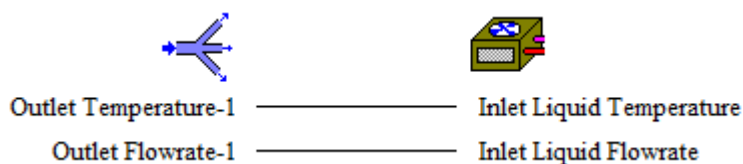


Figura 67. Conexiones entre la válvula de distribución y el fancoil FC\_PO\_R. Fuente: Simulation Studio

Tabla 69. Tabla con las conexiones de la válvula de distribución al fancoil FC\_P0\_R.

Conexiones Válvula distribución → Fancoil FC_P0_R		
Outputs válvula distribución	Inputs FC_P0_R	Unidades
Temperatura en la salida 1	Temperatura de entrada	°C
Caudal de la salida 1	Caudal de entrada	kg/hr

## 2. Fancoil FC\_P0\_L

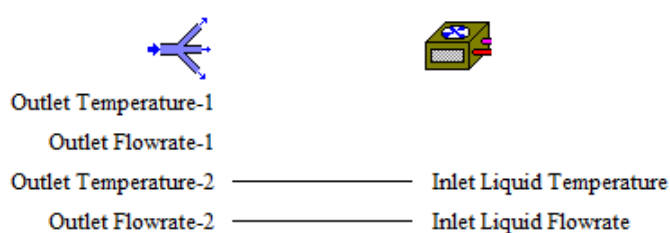


Figura 68. Conexiones entre la válvula de distribución y el fancoil FC\_P0\_L. Fuente: Simulation Studio

Tabla 70. Tabla con las conexiones de la válvula de distribución al fancoil FC\_P0\_L.

Conexiones Válvula distribución → Fancoil FC_P0_L		
Outputs válvula distribución	Inputs FC_P0_L	Unidades
Temperatura en la salida 2	Temperatura de entrada	°C
Caudal de la salida 2	Caudal de entrada	kg/hr

## 3. Fancoil FC\_P1

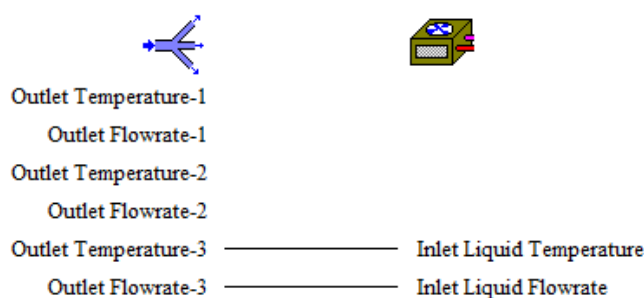


Figura 69. Conexiones entre la válvula de distribución y el fancoil FC\_P1. Fuente: Simulation Studio

Tabla 71. Tabla con las conexiones de la válvula de distribución al fancoil FC\_P1.

Conexiones Válvula distribución → Fancoil FC_P1		
Outputs válvula distribución	Inputs FC_P1	Unidades
Temperatura en la salida 3	Temperatura de entrada	°C
Caudal de la salida 3	Caudal de entrada	kg/hr

#### 4. Fancoil FC\_P2

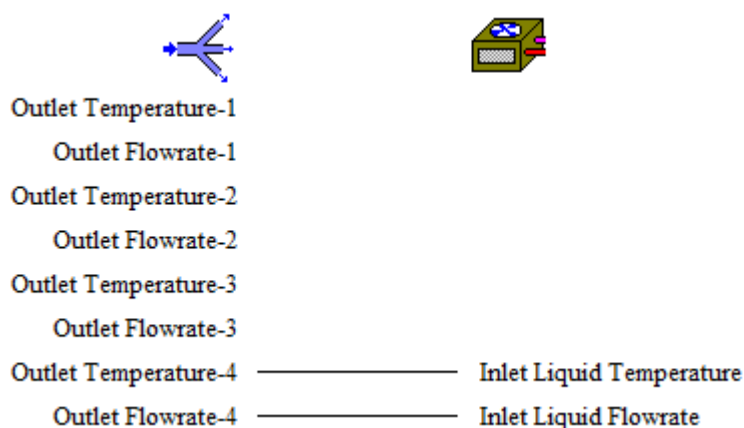


Figura 70. Conexiones entre la válvula de distribución y el fancoil FC\_P2. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 72. Tabla con las conexiones de la válvula de distribución al fancoil FC\_P2.

Conexiones Válvula distribución → Fancoil FC_P2		
Outputs válvula distribución	Inputs FC_P2	Unidades
Temperatura en la salida 4	Temperatura de entrada	°C
Caudal de la salida 4	Caudal de entrada	kg/hr

Luego, los outputs de los fancoils se conectan a la calculadora FC-Building:

#### 1. Fancoil FC\_P0\_R

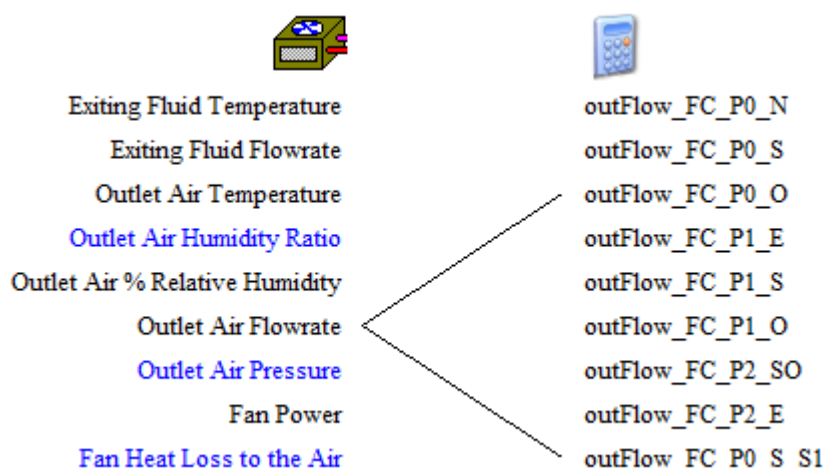


Figura 71. Conexiones entre el FC\_P0\_R y la calculadora FC-Building. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 73. Tabla con las conexiones del FC\_P0\_R a la calculadora FC-Building.

Conexiones Fancoil FC_P0_R → FCBuilding		
Outputs FC_P0_R	Inputs FCBuilding	Unidades
Caudal del aire de salida	outflow_FC_P0_O	kg/hr
	outflow_FC_P0_S_S1	

## 2. Fancoil FC\_P0\_L

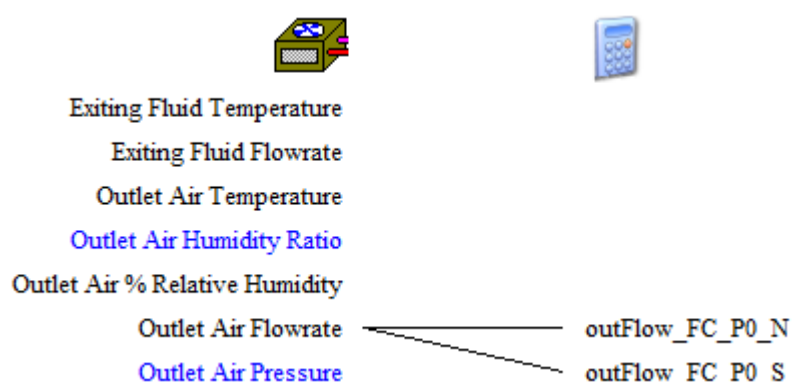


Figura 72. Conexiones entre el FC\_P0\_L y la calculadora FC-Building. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 74. Tabla con las conexiones del FC\_P0\_L a la calculadora FC-Building.

Conexiones Fancoil FC_P0_L → FCBuilding		
Outputs FC_P0_L	Inputs FCBuilding	Unidades
Caudal del aire de salida	outflow_FC_P0_N	kg/hr
	outflow_FC_P0_S	

## 3. Fancoil FC\_P1

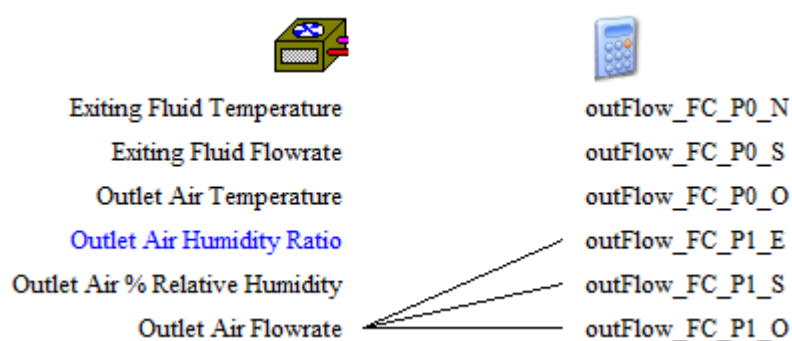


Figura 73. Conexiones entre el FC\_P1 y la calculadora FC-Building. Fuente: Simulation Studio.



Tabla 75. Tabla con las conexiones del FC\_P1 a la calculadora FC-Building.

Conexiones Fancoil FC_P1 → FCBuilding		
Outputs FC_P1	Inputs FCBuilding	Unidades
Caudal del aire de salida	outflow_FC_P1_E	kg/hr
	outflow_FC_P1_S	
	outflow_FC_P1_O	

#### 4. Fancoil FC\_P2

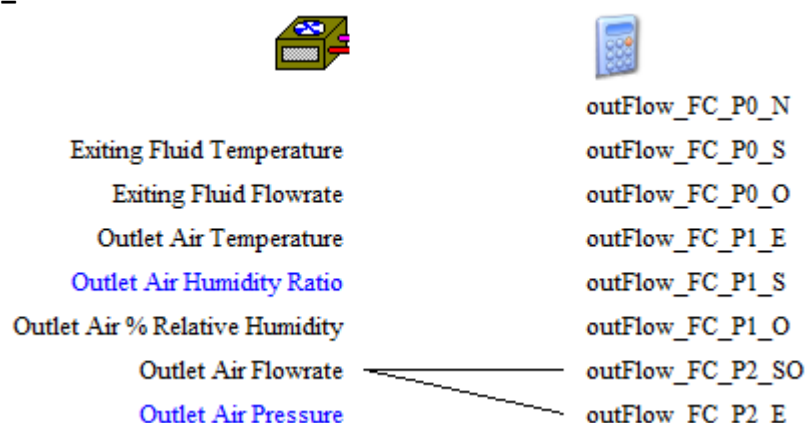


Figura 74. Conexiones entre el FC\_P1 y la calculadora FC-Building. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 76. Tabla con las conexiones del FC\_P2 a la calculadora FC-Building.

Conexiones Fancoil FC_P2 → FCBuilding		
Outputs FC_P2	Inputs FCBuilding	Unidades
Caudal del aire de salida	outflow_FC_P2_SO	kg/hr
	outflow_FC_P2_E	

#### • Conexiones fancoil → vivienda

Las conexiones directas de los fancoils al type 56 son la temperatura del aire y la humedad relativa, estas conexiones se muestran en la Tabla 77, Tabla 78, Tabla 79 y Tabla 80 :

Tabla 77. Tabla con las conexiones entre el FC\_P0\_R y el type 56.

Conexiones FC_P0_R → Type 56		
Outputs FC_P0_R	Inputs type 56	Unidades
Temperatura de salida del aire	FC_P0_S_TEMP	°C
	FC_P0_O_TEMP	
Humedad relativa del aire de salida	FC_P0_S_HUM	%
	FC_P0_O_HUM	

Tabla 78. Tabla con las conexiones entre el FC\_P0\_L y el type 56.

Conexiones FC_P0_L → Type 56		
Outputs FC_P0_L	Inputs type 56	Unidades
Temperatura de salida del aire	FC_P0_N_TEMP	°C
	FC_P0_S_S1_TEMP	
Humedad relativa del aire de salida	FC_P0_N_HUM	%
	FC_P0_S_S1_HUM	

Tabla 79. Tabla con las conexiones del FC\_P1 con el type 56.

Conexiones FC_P1 → Type 56		
Outputs FC_P1	Inputs type 56	Unidades
Temperatura de salida del aire	FC_P1_E_TEMP	°C
	FC_P1_S_TEMP	
	FC_P1_O_TEMP	
Humedad relativa del aire de salida	FC_P1_E_HUM	%
	FC_P1_S_HUM	
	FC_P1_O_HUM	

Tabla 80. Tabla con las conexiones del FC\_P2 con el type 56.

Conexiones FC_P2 → Type 56		
Outputs FC_P2	Inputs type 56	Unidades
Temperatura de salida del aire	FC_P2_SO_TEMP	°C
	FC_P2_E_TEMP	
Humedad relativa del aire de salida	FC_P2_SO_HUM	%
	FC_P2_E_HUM	

Tal y como se ha mencionado previamente, la calculadora FC-Building permite conectar el output del caudal de aire de los fancoils con las zonas correspondientes definidas en el type 56 (modelo de la vivienda). En la Tabla 81 se muestran las conexiones de la calculadora al modelo de la vivienda:

Tabla 81. Tabla con las conexiones de la calculadora FCBuilding al type 56.

Conexiones FCBuilding → Type 56		
Outputs FCBuilding	Inputs type 56	Unidades
inflow_FC_P0_N	FC_P0_N_AIRFLOW	kg/hr
inflow_FC_P0_S	FC_P0_S_AIRFLOW	
inflow_FC_P0_S_S1	FC_P0_S_S1_AIRFLOW	
inflow_FC_P0_O	FC_P0_O_AIRFLOW	
inflow_FC_P1_E	FC_P1_E_AIRFLOW	
inflow_FC_P1_S	FC_P1_S_AIRFLOW	
inflow_FC_P1_O	FC_P1_O_AIRFLOW	
inflow_FC_P2_SO	FC_P2_SO_AIRFLOW	
inflow_FC_P2_E	FC_P2_E_AIRFLOW	

En conclusión, se han podido realizar de manera directa las conexiones de temperatura de salida del aire y de humedad relativa, en cambio, ha sido necesario introducir el componente calculadora para poder conectar correctamente el caudal de aire de salida del aire a las zonas térmicas correspondientes.

- **Conexiones type 56 → calculadora**

Los outputs del type 56 que deben ir de retorno a los fancoils pasando por la calculadora Building-FC son los parámetros de temperatura del aire de retorno y de la humedad relativa de retorno. En la Tabla 82 y la Tabla 83 se muestran los resultados:

Tabla 82. Tabla con las conexiones referentes a la temperatura del aire de retorno del type 56 a la calculadora Building-FC.

Conexiones Type 56 → BuildingFC		
Outputs Type 56	Inputs Building-FC	Unidades
TAIR_P1_E	Temp_air_P1_E	°C
TAIR_P1_S	Temp_air_P1_S	
TAIR_P1_O	Temp_air_P1_O	
TAIR_P2_SO	Temp_air_P2_SO	
TAIR_P2_E	Temp_air_P2_E	
TAIR_P0_O	Temp_air_P0_O	
TAIR_P0_N	Temp_air_P0_N	
TAIR_P0_S	Temp_air_P0_S	

Tabla 83. Tabla con las conexiones referentes a la humedad relativa de retorno del type 56 a la calculadora Building-FC.

Conexiones Type 56 → BuildingFC		
Outputs Type 56	Inputs Building-FC	Unidades
RELHUM_P1_E	HR_P1_E	%
RELHUM_P1_S	HR_P1_S	
RELHUM_P1_O	HR_P1_O	
RELHUM_P2_SO	HR_P2_SO	
RELHUM_P2_E	HR_P2_E	
RELHUM_P0_O	HR_P0_O	
RELHUM_P0_N	HR_P0_N	
RELHUM_P0_S	HR_P0_S	

- Conexiones fancoils → válvula de retorno FC

Una vez explicadas las conexiones de retorno del type 56 referentes al sistema de refrigeración se procede a explicar las conexiones del circuito de retorno de este. Se observan las conexiones en la Figura 75, Figura 76, Figura 77 y Figura 78 y la Tabla 84, Tabla 85, Tabla 86, Tabla 87:

### 1. Fancoil FC\_P0\_R

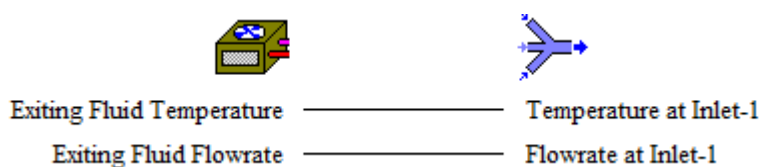


Figura 75. Conexiones del FC\_P0\_R a la válvula de retorno FC.

Tabla 84. Tabla con las conexiones entre el FC\_P0\_R y la válvula de retorno FC.

Conexiones FC_P0_R → Válvula retorno FC		
Outputs FC_P0_R	Inputs válvula retorno FC	Unidades
Temperatura de salida del fluido	Temperatura en la entrada 1	°C
Caudal de salida del fluido	Caudal en la entrada 1	kg/hr

2. Fancoil FC\_P0\_L

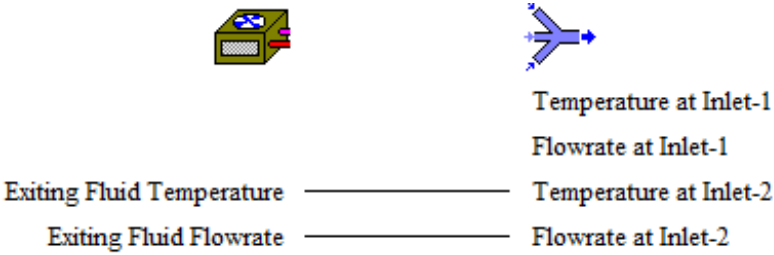


Figura 76. Conexiones del FC\_P0\_L a la válvula de retorno FC.

Tabla 85. Tabla con las conexiones entre el FC\_P0\_L y la válvula de retorno FC.

Conexiones FC_P0_L → Válvula retorno FC		
Outputs FC_P0_L	Inputs válvula retorno FC	Unidades
Temperatura de salida del fluido	Temperatura en la entrada 2	°C
Caudal de salida del fluido	Caudal en la entrada 2	kg/hr

3. Fancoil FC\_P1

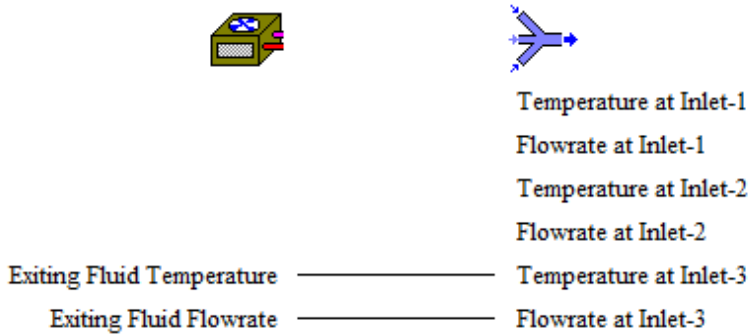


Figura 77. Conexiones del FC\_P1 a la válvula de retorno FC.

Tabla 86. Tabla con las conexiones del FC\_P1 a la válvula de retorno FC.

Conexiones FC_P1 → Válvula retorno FC		
Outputs FC_P1	Inputs válvula retorno FC	Unidades
Temperatura de salida del fluido	Temperatura en la entrada 3	°C
Caudal de salida del fluido	Caudal en la entrada 3	kg/hr

#### 4. Fancoil FC\_P2

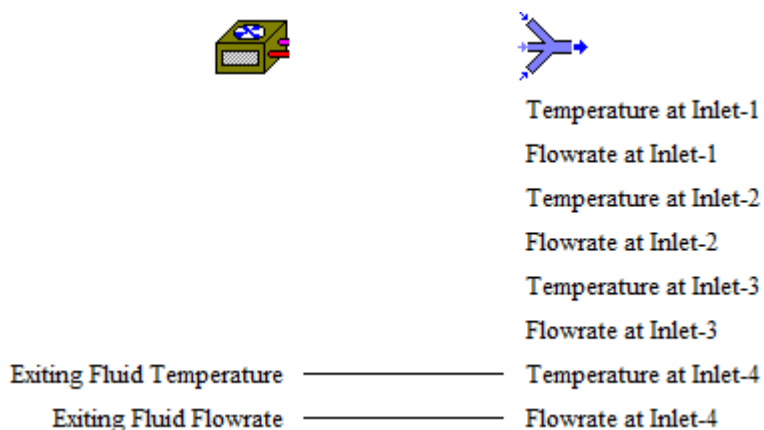


Figura 78. Conexiones del FC\_P2 con la válvula de retorno FC.

Tabla 87. Tabla con las conexiones del FC\_P2 a la válvula de retorno FC.

Conexiones FC_P2 → Válvula retorno FC		
Outputs FC_P2	Inputs válvula retorno FC	Unidades
Temperatura de salida del fluido	Temperatura en la entrada 4	°C
Caudal de salida del fluido	Caudal en la entrada 4	kg/hr

- **Conexiones válvula retorno FC → válvula retorno refrigeración**

Finalmente, una vez la válvula de caudal de retorno de los fancoils une todos los caudales procedentes de todos los fancoils, esta válvula distribuye el caudal final a la válvula de retorno de refrigeración dónde se une al caudal previamente desviado en la válvula de refrigeración. Se observan las conexiones en la Figura 79 y la Tabla 88:

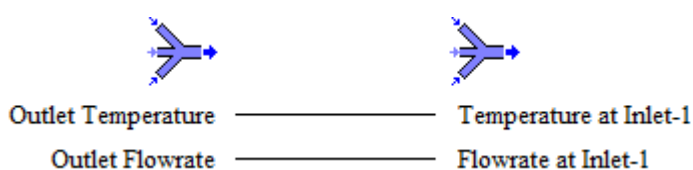


Figura 79. Conexiones entre la válvula de retorno FC y la válvula de retorno del sistema de refrigeración.

Tabla 88. Tabla con las conexiones entre la válvula de retorno FC y la válvula de retorno del sistema de refrigeración.

Conexiones Válvula de retorno FC → Válvula retorno refrigeración		
Outputs válvula de retorno FC	Inputs válvula retorno refrigeración	Unidades
Temperatura de salida	Temperatura en la entrada 1	°C
Caudal de salida	Caudal en la entrada 1	kg/hr

#### 4.4.4. Implementación del sistema de ACS en TRNSYS

Para implementar el sistema de ACS en TRNSYS solo es necesario crear el circuito en el *Simulation Studio*, a diferencia del sistema de climatización que también era necesario modificar el modelo de la vivienda en TRNBuild.

##### 4.4.4.1. ACS: Simulation studio

El sistema de ACS tiene como función proveer de agua caliente sanitaria a los usuarios de la vivienda. Siempre que exista una demanda de ACS, la bomba de calor se activará y se priorizará el sistema de ACS antes que el de climatización. La válvula general es la encargada de hacer circular el fluido hasta el sistema de ACS, dónde se almacena el fluido en un tanque.

Los componentes de TRNSYS que forman el circuito de ACS son:

- Tanque ACS: *Type 534*.
- Termostato: *Type 1502*.
- Calculadora.
- Perfil ACS para 4 personas: *Type 9*.

Se puede observar el circuito de ACS con los componentes mencionados encima en la Figura 80:

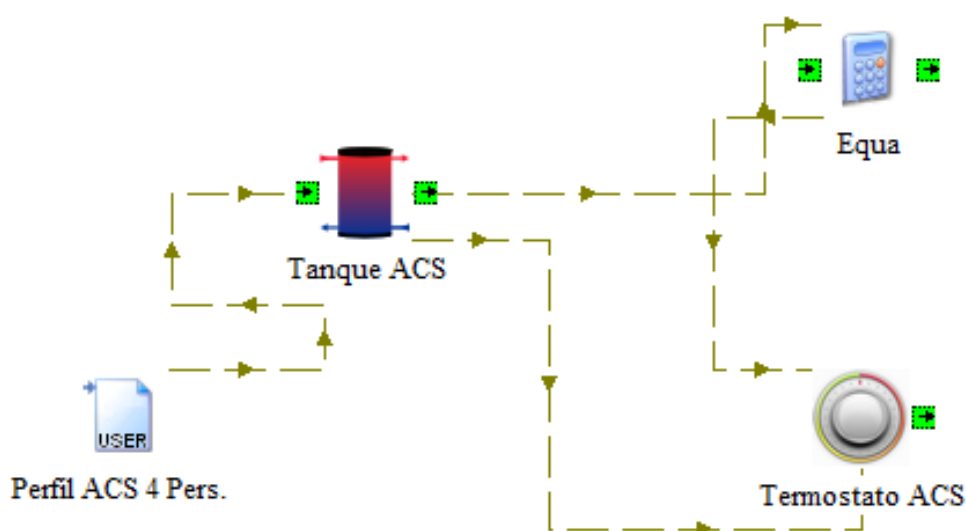


Figura 80. Circuito de ACS implementado en el Simulation Studio. Fuente: Simulation Studio.

#### 4.4.4.1.1 Parámetros de los componentes del sistema de ACS

- **Tanque ACS**

A continuación, se pueden observar los valores de los parámetros introducidos en cada uno de los componentes que forman el circuito de ACS en la Tabla 89:

Tabla 89. Tabla con los valores introducidos en los parámetros del tanque ACS: Type 534. Fuente: propia.

Tanque ACS: Type 534	
Parámetros	Valor
Número de nodos del tanque	5
Número de puertos	2
Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )	0,26
Altura del tanque (m)	1,73
Entrada nodo-1	1
Salida nodo-1	5
Entrada nodo-2	5
Salida nodo-2	1

Las dimensiones del tanque de ACS (volumen y altura) han sido extraídos del catálogo [50] y se pueden observar en la Tabla 89. La bomba de calor instalada en la vivienda cuenta con el acumulador dentro de la unidad interior, para poder simular el sistema de ACS en el *Simulation Studio* ha sido necesario implementar el tanque de ACS como un sistema aparte, ya que ningún *type* de TRNSYS 17 contempla una bomba de calor con un acumulador integrado.

- **Funcionamiento tanque ACS**

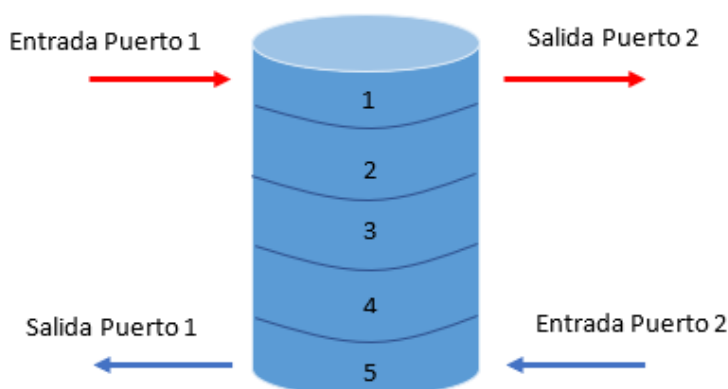
A continuación, se explican más detalladamente cada uno de los parámetros mostrados en la

Figura 81:

1. **Número de nodos del tanque** → El número de nodos del tanque hace referencia al número de nodos isotérmicos en los que el tanque estará dividido. El valor introducido es de 5 ya que es un valor por defecto que se utiliza en los tanques de ACS.
2. **Número de puertos** → El número de puertos de entrada y salida del acumulador. El modelo asume que el 100% de caudal que circula por la entrada va a llegar a la salida. En el caso estudiado el valor introducido es de 2, es decir, 2 entradas y 2 salidas desde el tanque. La entrada y salida referente al puerto 1 estará vinculada al circuito de la bomba de calor, y la entrada y salida referente al puerto 2 será la entrada del agua de la red y la salida de esa agua (ya considerada ACS) hacia la vivienda. Para comprender mejor el significado se adjunta la



3. Figura 81 donde se muestra el funcionamiento del tanque ACS:



*Figura 81. Funcionamiento del tanque ACS implementado en el Simulation Studio. Fuente: propia.*

4. **Entrada nodo 1** → Especifica en qué nodo se encuentra la entrada del puerto 1. Tal y como se puede observar en la
5. Figura 81, el nodo 1 es la entrada del puerto 1. La entrada del puerto 1 es la que suministra el agua caliente procedente de la bomba de calor (agua caliente, ACS).
6. **Salida nodo 1** → Especifica en qué nodo se encuentra la salida del puerto 1. La salida del puerto 1 se encuentra en el nodo 5. La salida del puerto 1 se encarga de hacer circular el agua que sale de ese nodo otra vez hasta la bomba de calor (agua enfriada).
7. **Entrada nodo 2** → Especifica en qué nodo se encuentra la entrada del puerto 2. La entrada del puerto 2 se ha ubicado en el nodo 5. La entrada del puerto 2 es la encargada de hacer llegar al tanque el agua proveniente de la red (agua fría).
8. **Salida nodo 2** → Especifica en qué nodo se encuentra la salida del puerto 2. La salida del puerto dos se ubica en el nodo 1. De ahí sale el ACS que va dirigida hasta la vivienda.

En definitiva, el funcionamiento del tanque implementado en el *Simulation Studio* es el siguiente:


- **Funcionamiento del circuito 1 (Puerto 1)** → El agua caliente, ACS, sale de la entrada del puerto 1, ubicada en el nodo 1. Referente al agua del nodo 5, esta sale por la salida del puerto 1 y es redirigida otra vez hasta la bomba de calor para repetir el ciclo.

- **Funcionamiento del circuito 2 (Puerto 2)** → El agua procedente de la red entra por la entrada del puerto 2, ubicada en el nodo 5 (considerado el nodo más frío del tanque) y la salida del puerto 2 se ubica en el nodo 1, donde se encuentra el ACS y lo distribuye hasta la vivienda.

- **Perfil ACS 4 personas**

Para determinar la demanda de ACS que tiene la vivienda, se toma como referencia un perfil de ACS de 4 personas a una temperatura de 45°C, siguiendo la norma EN 16147. Este perfil se encuentra en un fichero con una extensión .txt. Para poder introducir este fichero con los datos referentes a la demanda, es necesario introducir en la simulación un lector de ficheros (*data reader*). El *type 9* permite leer ese fichero y conectarlo como output al tanque de ACS.

El intervalo de tiempo del fichero a leer es de un valor cada 30 minutos y está formado por 3 columnas: la primera hace referencia a la hora (tiempo), la segunda al volumen en [litros] y la tercera columna hace referencia al caudal de agua necesario en [kg/h]. Para la simulación nos interesa tener como input el caudal de agua, ya que el objetivo es que se extraiga del tanque la cantidad necesaria de ACS para la vivienda. En la Figura 82 se muestra una parte el fichero:

 BO\_PerfilACS4pers\_mitjahora: Bloc de notes

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
Time	4 or more pers			
0	0	0		
0.5	0	0		
1	0	0		
1.5	0	0		
2	0	0		
2.5	0	0		
3	0	0		
3.5	0	0		
4	0	0		
4.5	0	0		
5	0	0		
5.5	0	0		
6	0	0		
6.5	0	0		
7	0	0		
7.5	34.4	68.8		

Figura 82. Fichero con los datos de demanda de ACS para 4 personas. Fuente: propia.

Es necesario introducir correctamente los parámetros en el *Type 9* para que éste lea correctamente los valores que deseamos. Los parámetros introducidos se muestran en la Tabla 90:

Tabla 90. Tabla con los valores de los parámetros introducidos en el Type 9 en el Simulation Studio. Fuente: propia.

Lector ficheros: Type 9	
Parámetros	Valor
Modo	2
Líneas de encabezado a saltar	1
Número de valores a leer	3
Intervalo de tiempo de los datos	0,5

A continuación, se encuentran explicados cada uno de los parámetros con mayor profundidad:

1. **Modo** → El lector de ficheros tiene distintos modos de funcionamiento. El modo escogido para la simulación es el modo 2: El modo 2 considera la primera hora que lee como la hora de comienzo de la simulación.
2. **Líneas de encabezado a saltar** → Número de líneas de encabezado que debe saltar el lector de ficheros. Por ejemplo, la primera línea que se puede observar en la Figura 82, que es donde se encuentra texto escrito, queremos que sea saltada por el fichero de datos, ya que los datos a tener en cuenta en la simulación empiezan en la segunda fila del fichero .txt. Por lo tanto, el valor a introducir en este parámetro es 1.
3. **Número de valores a leer** → Este parámetro especifica cuántos valores se encuentran en una fila de datos del fichero. Observando la Figura 82 se ve que hay 3 valores: el tiempo, el volumen y el caudal de agua. Entonces, el valor introducido en este parámetro es el 3. Cabe especificar que cada output del fichero de datos hace referencia a una columna, por lo tanto, si nuestro interés recae simplemente sobre la columna número 3 (caudal de agua), será necesario conectar el output 3 del fichero de datos.
4. **Intervalo de tiempo de los datos** → Es necesario especificar al type 9 qué intervalo de tiempo se ha usado para obtener los datos. En el caso de estudio, el intervalo de tiempo usado es de media hora así que el valor introducido a este parámetro es de 0,5 horas.

#### 4.4.4.1.2 Conexiones con el circuito de ACS

Finalmente, en este apartado se muestran las conexiones realizadas en TRNSYS entre los distintos componentes que forman el circuito de ACS.

- **Tanque ACS**

Se va a empezar explicando las conexiones de entrada del tanque de ACS. El tanque de ACS recibe el agua caliente de la bomba de calor. Es distribuida hasta el tanque a través de la válvula general. En la Figura 83 y la Tabla 91 se muestran sus conexiones:

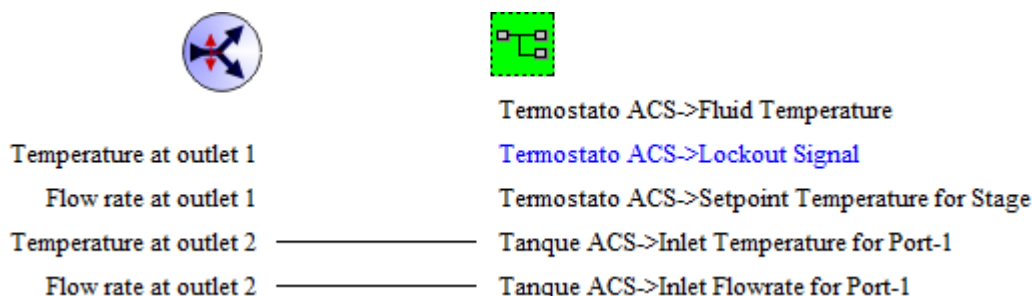


Figura 83. Conexiones entre la válvula general y el tanque de ACS. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 91. Tabla con las conexiones de la válvula general y el tanque de ACS. Fuente: propia.

Conexiones Válvula General → Tanque ACS		
Outputs válvula general	Inputs tanque ACS	Unidades
Temperatura en la salida 2	Temperatura de entrada para el puerto 1	°C
Caudal de la salida 2	Caudal de entrada para el puerto 1	kg/hr

Otro input que le entra al tanque ACS es el perfil de demanda de este, se puede observar las conexiones en la Tabla 92 y la Figura 84 :

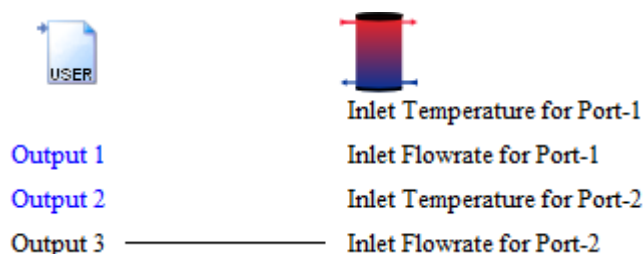


Figura 84. Conexiones entre el type 9 y el tanque ACS. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 92. Tabla con las conexiones entre el type 9 y el tanque de ACS. Fuente: propia.

Conexiones Lector de ficheros (Type 9) → Tanque ACS		
Outputs Type 9	Inputs tanque ACS	Unidades
Output 3	Caudal de entrada para el puerto 2	kg/hr

#### 4.4.5. Implementación del control en los sistemas en TRNSYS

Es necesario implementar un sistema de control para asegurar que los sistemas funcionan según las condiciones establecidas. A continuación, se va a explicar el control implementado en los sistemas de:

- Climatización
- ACS
- Bomba de calor
- Bomba de circulación
- Válvulas generales

Para determinar las ecuaciones de control de todos los sistemas se utiliza una calculadora, esta se va a explicar una vez comentados todos los sistemas que forman la simulación.

#### **4.4.5.1. Implementación del control en el sistema de climatización**

El sistema de climatización al disponer de sistema de calefacción y sistema de refrigeración precisa de distintos controles para cada uno de los sistemas. Además, se ha establecido un rango de uso horario para cada uno de estos sistemas durante el período de un año. Es decir, se limita el uso de cada uno de los sistemas dependiendo de la época del año y las condiciones meteorológicas.

##### **4.4.5.1.1 Implementación del control del sistema de calefacción**

El uso del sistema de calefacción está limitado a los días comprendidos entre el 7 de octubre y el 15 de mayo. Es decir, el sistema de calefacción se va a poder activar en la simulación a partir de la hora 6696, hora que corresponde al día 7 de octubre y va a estar disponible hasta la hora 3216, hora correspondiente al 15 de mayo.

Para implementar el control del sistema de calefacción se han introducido los siguientes componentes a la simulación:

- Termostato.
- Función perfil temperatura de consigna para la calefacción.
- Función perfil ON-OFF invierno.
- Control del sistema mediante la calculadora.

##### **4.4.5.1.1.1 Termostato**

Se ha implementado el sistema de control partiendo de la información obtenida en la encuesta mostrada en el apartado 4.2.4. Aunque en la encuesta se especifique que disponen de tres termostatos en la vivienda para el sistema de calefacción, en la simulación se ha considerado que la casa sólo tiene uno para simplificar el control, concretamente se ha ubicado este termostato en la zona térmica P1\_E correspondiente al salón de la vivienda.

La función del termostato es monitorizar la temperatura de la zona térmica P1\_E y compararla con las temperaturas de consigna, cuando la temperatura monitorizada sea menor a la temperatura de consigna, el termostato manda una señal para activar así la bomba de calor.

El *type* usado en la simulación para representar el termostato es el número 108. El único parámetro introducido en este *type* es la temperatura de la zona muerta (*deadband*), la cual está fijada a 2 °C. El control se va a activar cuando la temperatura leída esté 1°C por encima o bien por debajo de la temperatura de referencia establecida.

#### 4.4.5.1.1.2 Función perfil temperatura de consigna invierno

Tal y como se ha comentado anteriormente el termostato compara la temperatura monitorizada con la temperatura de consigna. Para el caso de estudio se ha establecido más de una temperatura de consigna dependiendo de la hora del día, los valores establecidos son:

- Temperatura de consigna diurna (8h-22h) → 23°C.
- Temperatura de consigna nocturna (22h-8h) → 21°C.

Al disponer de más de un valor de consigna dependiendo de la hora del día, es necesario introducir ese perfil en la simulación. Para hacerlo, se introduce el *type* 14 el cual permite determinar un comportamiento caracterizado por un patrón repetido. El perfil introducido es el siguiente mostrado en la Figura 85 :

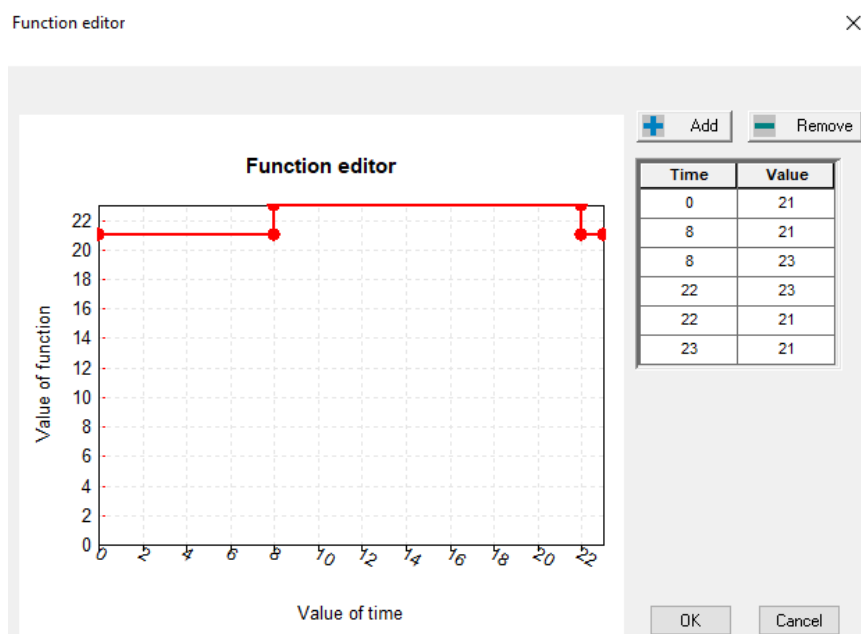


Figura 85. Perfil correspondiente a la temperatura de consigna de invierno para el sistema de calefacción. Fuente: Simulation Studio.

#### 4.4.5.1.1.3 Función perfil ON-OFF invierno

Además de establecer una temperatura de consigna, también se establece unas horas de encendido o apagado del sistema de calefacción. Tal y como se ha comentado en la encuesta, aprovechan las horas valle de la tarifa contratada para utilizar el sistema de calefacción, las horas que están definidas como horas valle en la tarifa para invierno son de las 22h a las 12h. Para implementar este perfil se ha usado el mismo *type* que para la temperatura de consigna. El perfil introducido se observa en la Figura 86 :

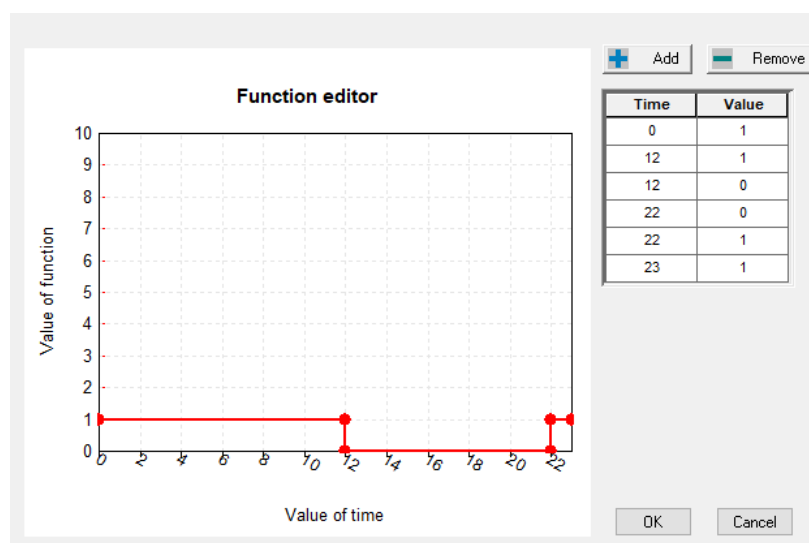


Figura 86. Perfil correspondiente a las horas valle de invierno para el sistema de calefacción. Fuente: Simulation Studio.

#### 4.4.5.1.1.4 Conexiones

Una vez explicados los componentes que forman el circuito de control para el sistema de calefacción, se procede a explicar las conexiones necesarias para establecer correctamente el control. Tal y como se ha mencionado en el apartado 4.4.5, todas las ecuaciones se definen en una calculadora común. Los inputs definidos en la calculadora tienen como origen los outputs de los distintos componentes. A continuación, se muestran las distintas conexiones para los distintos componentes:

- **Conexiones termostato**

El termostato recibe como input el perfil de la temperatura de consigna definido en la función de temperatura de consigna. En la Figura 87 y la Tabla 93 se muestra la conexión:

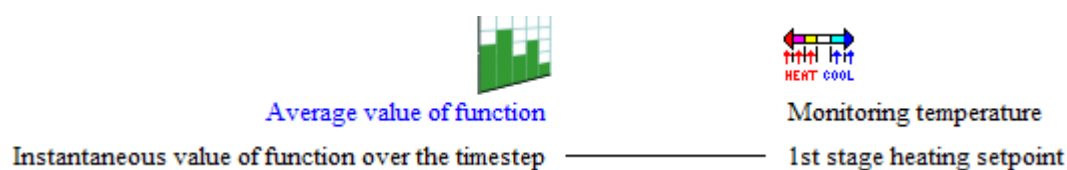


Figura 87. Conexiones entre el perfil de temperatura de consigna y el termostato. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 93. Tabla con las conexiones de entrada del termostato con el perfil de temperatura de consigna. Fuente: propia.

Output perfil temperatura de consigna invierno	Input termostato	Unidades
Valor instantáneo de la función	Temperatura de consigna para la calefacción de la primera etapa	°C

Referente al output del termostato, este envía la señal de calefacción a la calculadora general, la conexión realizada se muestra en la Figura 88 y la Tabla 94 :

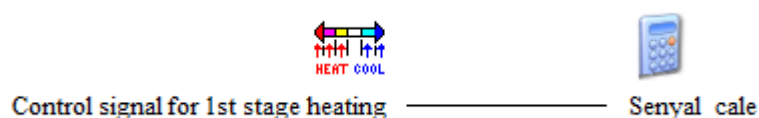


Figura 88. Conexión del output del termostato con input calculadora general de control. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 94. Tabla con la conexión de salida del termostato y un output de la calculadora general de control. Fuente: propia.

Output termostato	Input calculadora control
Señal de control para la calefacción de la primera etapa	<i>Senyal_cale</i>

- **Conexión perfil ON-OFF invierno → Calculadora control**

Finalmente, el perfil de ON-OFF para invierno previamente definido va conectado directamente a uno de los inputs de la calculadora de control. En la Figura 89 y la Tabla 95 se muestra la conexión:

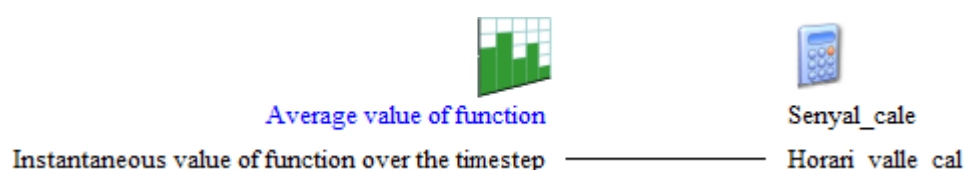


Figura 89. Conexiones entre el perfil de ON-OFF de invierno y la calculadora de control general. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 95. Tabla con las conexiones entre el perfil ON-OFF invierno y la calculadora control general. Fuente: propia.

Output perfil ON-OFF invierno	Input calculadora control
Valor instantáneo de la función	<i>Horari_valle_cal</i>



#### **4.4.5.1.2 Implementación del control del sistema de refrigeración**

Para el control de la refrigeración se ha hecho una simplificación de las condiciones reales determinadas en la encuesta. Los ocupantes especificaron que implementan el control a partir de dos temperaturas de consigna una diurna y una nocturna. Además, intentan aprovechar las horas valle de la factura, hacen uso de la ventilación natural, sobre todo por las noches y la vivienda consta con protecciones solares. En este caso, la influencia de los usuarios es mayor, ya que la estrategia puede ir variando en función de las condiciones climáticas e implementar un sistema u otro según las necesidades. En la simulación realizada el factor humano no se ha valorado y la estrategia utilizada ha sido la siguiente:

- El sistema de fancoils solo va a funcionar durante las horas valle diurnas (8h-13h).
- Por la noche se va a implementar el sistema de ventilación natural para así reducir el uso de los fancoils.

El sistema de refrigeración también tiene su uso limitado al igual que el sistema de calefacción. El sistema de refrigeración está disponible a partir del 15 de mayo y puede funcionar hasta el 7 de octubre.

Los componentes usados para simular el control del sistema de refrigeración son los mismos que para el sistema de calefacción. Es más, el termostato previamente explicado en el apartado 4.4.5.1.1 es el que se usa también para el sistema de refrigeración. Es decir, se dispone de un termostato para todo el sistema de climatización.

Además del termostato, también se han añadido las funciones de temperatura de consigna y de ON-OFF. Los componentes usados son los mismos, pero están definidos de forma distinta.

##### **4.4.5.1.2.1 Función temperatura de consigna verano**

El sistema de refrigeración también tiene definidas dos temperaturas de consigna, establecidas en la encuesta. Los valores para el sistema de refrigeración son:

- Temperatura de consigna diurna (8h-22h) → 25°C.
- Temperatura de consigna nocturna (22h-8h) → 23°C.

El perfil definido en el *type* 14 es el siguiente mostrado en la Figura 90:

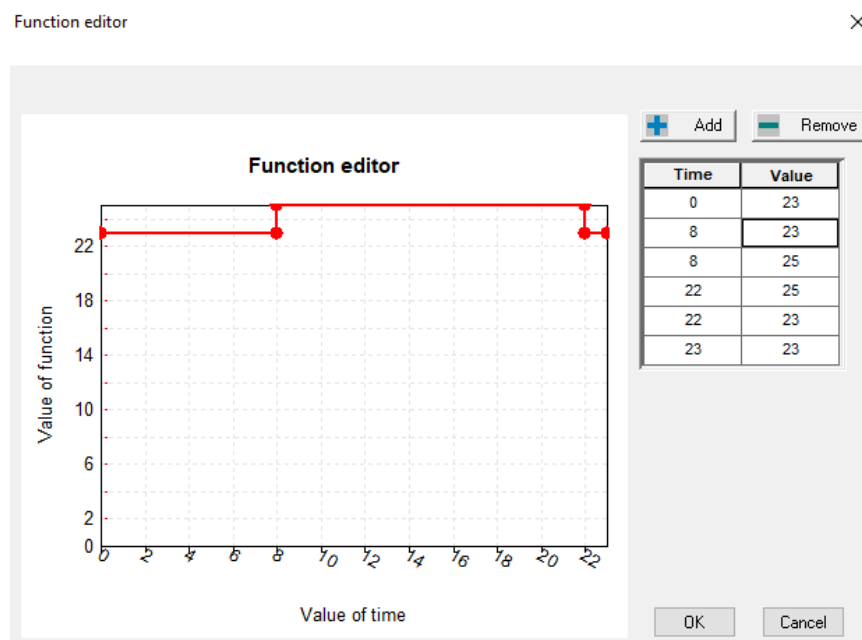


Figura 90. Perfil correspondiente a la temperatura de consigna de verano para el sistema de refrigeración. Fuente: Simulation Studio.

#### 4.4.5.1.2.2 Función perfil ON-OFF Verano

La estrategia que se sigue para el sistema de refrigeración es parecida a la del sistema de calefacción. Se intenta aprovechar las horas valle definidas en la tarifa contratada para hacer funcionar el sistema de refrigeración, las horas valle son ligeramente diferentes a las definidas en el sistema de calefacción. Las horas valle definidas según la tarifa para el sistema de refrigeración son de 23h a 13h.

Otra estrategia que se implementa es la ventilación natural. La ventilación natural se emplea durante la noche mientras se duerme, es decir, el sistema de refrigeración no está en funcionamiento durante las noches de verano ya que se emplea ventilación natural. Explicado más detalladamente en el apartado 4.4.5.8.

El perfil introducido en el *type* se observa en la Figura 91 :

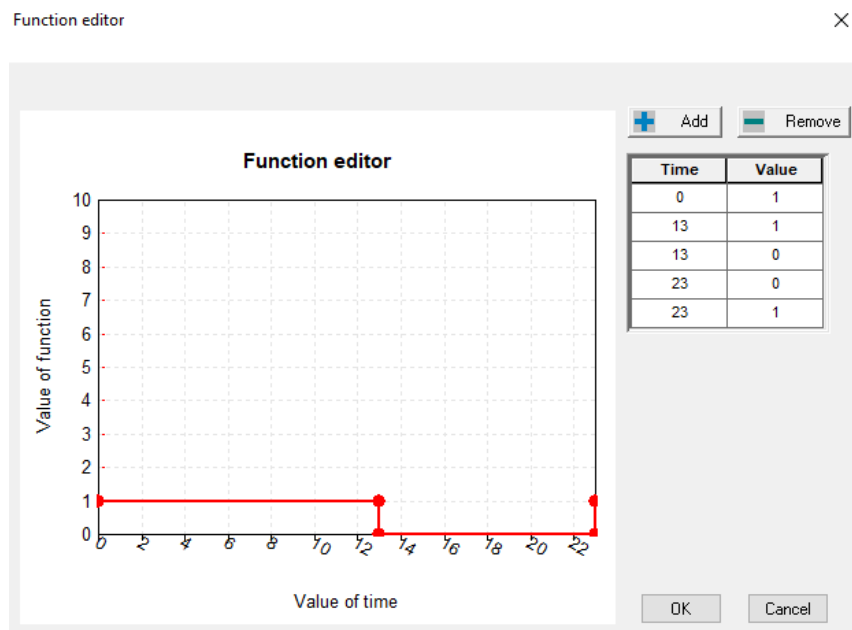


Figura 91. Perfil correspondiente a las horas valle de verano para el sistema de refrigeración. Fuente: Simulation Studio.

#### 4.4.5.1.2.3 Conexiones

A continuación, se explican las conexiones entre los componentes para el sistema de refrigeración:

- **Conexiones termostato**

Se monitoriza la temperatura desde el mismo termostato que el usado para el sistema de calefacción. El termostato ofrece conexiones tanto para la calefacción como para la refrigeración. La conexión realizada se muestra en la Figura 92 y la Tabla 96 :

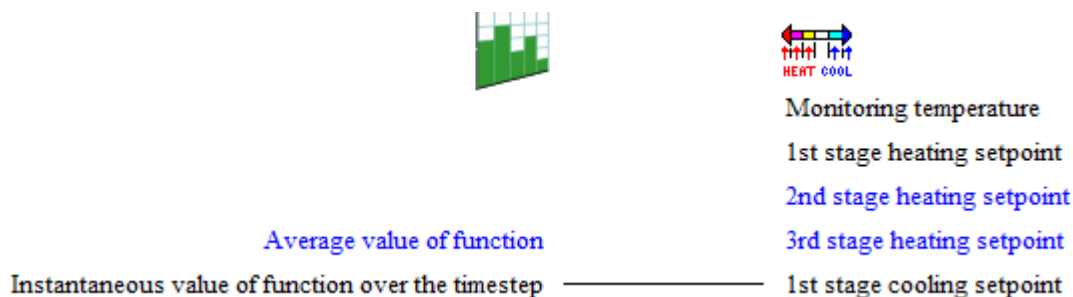


Figura 92. Conexiones entre el perfil de temperatura de consigna para verano con el termostato. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 96. Tabla con las conexiones entre el perfil de temperatura de consigna de verano con el termostato. Fuente: propia.

Output perfil temperatura de consigna verano	Input termostato	Unidades
Valor instantáneo de la función	Temperatura de consigna para la refrigeración de la primera etapa	°C

También se conecta el termostato con la calculadora general, la conexión se muestra en la Figura 93 y la Tabla 97 :

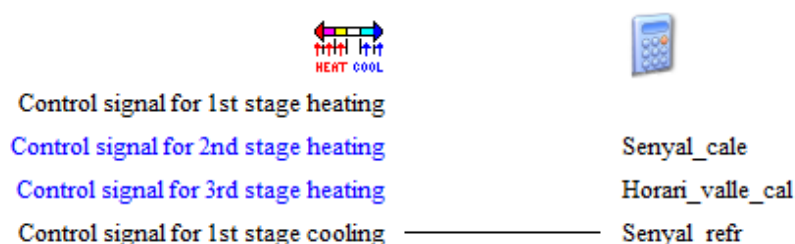


Figura 93. Conexiones entre el termostato y la calculadora general de control. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 97. Tabla con las conexiones entre el termostato y la calculadora general de control. Fuente: propia.

Output termostato	Input calculadora control
Señal de control para la refrigeración de la primera etapa	Senyal_refr

- **Conexiones perfil ON-OFF Verano → Calculadora control**

La conexión del perfil ON-OFF de verano se realiza directamente a la calculadora de control general, la conexión se muestra en la Figura 94 y la Tabla 98 :

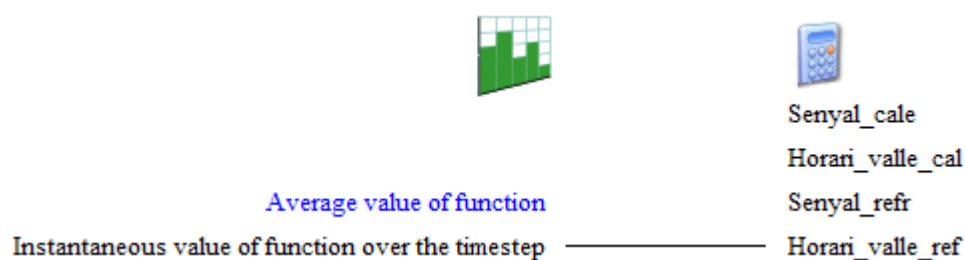


Figura 94. Conexión del perfil ON-OFF de verano a la calculadora de control general. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 98. Conexión entre el perfil ON-OFF verano y la calculadora de control general. Fuente: propia.

Output perfil ON-OFF verano	Input calculadora control
Valor instantáneo de la función	<i>Horari_valle_ref</i>

Una vez explicados todos los componentes del control para el sistema de climatización, así como sus conexiones, se adjunta la Figura 95 :

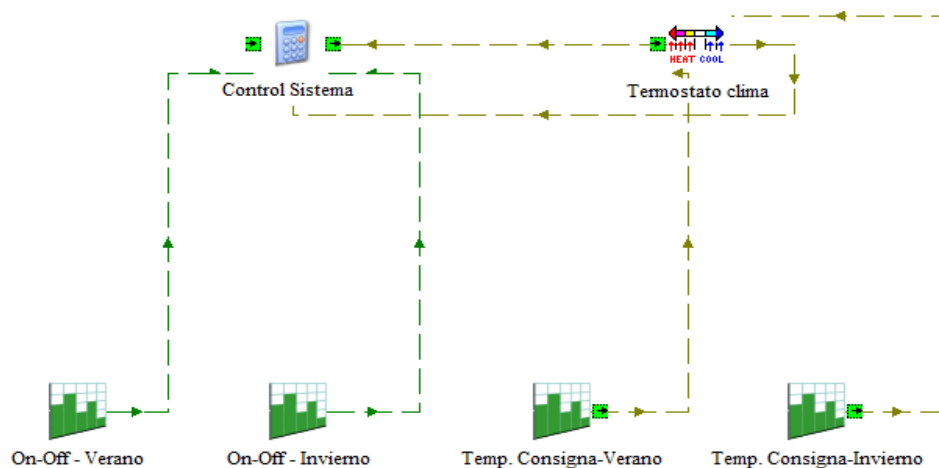


Figura 95. Circuito de control implementado para el sistema de climatización. Fuente: Simulation Studio.

#### 4.4.5.2. Implementación del control del sistema de ACS

##### 4.4.5.2.1 Termostato ACS

Es necesario introducir un termostato en el circuito del sistema de ACS para poder controlar la temperatura del tanque. La temperatura del tanque no debe ser menor de 45°C, para poder monitorizar esta temperatura y saber cuándo activar la bomba de calor para que haga llegar el fluido hasta el tanque es necesario implementar un termostato. El *type* usado en la simulación es el 1502.

El único parámetro introducido en este componente es el siguiente:

- **Temperatura de la zona muerta (*deadband*)** → Se pueden controlar los efectos de histéresis asignando un valor a este parámetro. El punto de ajuste está centrado en el rango siguiente según las ecuaciones (Eq. 16) y (Eq. 17):
  - El control se activa cuando la temperatura es menor que:

$$(Eq. 16) \quad Control\ activado = Valor\ de\ ref. < Valor\ de\ ref. - \frac{Valor\ banda\ muerta}{2}$$

- El control se desactiva cuando la temperatura es mayor que:

$$(Eq. 17) \quad \text{Control desactivado} = \text{Valor de ref.} > \left( \text{Valor de ref.} + \frac{\text{Valor banda muerta}}{2} \right)$$

El valor de la temperatura de la zona muerta especificado es de 5°C.

#### 4.4.5.2.2 Calculadora sistema ACS

Además de los componentes explicados anteriormente, también se añade una calculadora al circuito del ACS. En esta calculadora se define la demanda de ACS que tiene el tanque y también la temperatura de referencia para el tanque, la cuál es necesaria para poder implementar el control. A continuación, se muestran las ecuaciones generadas en la calculadora en la Figura 96:

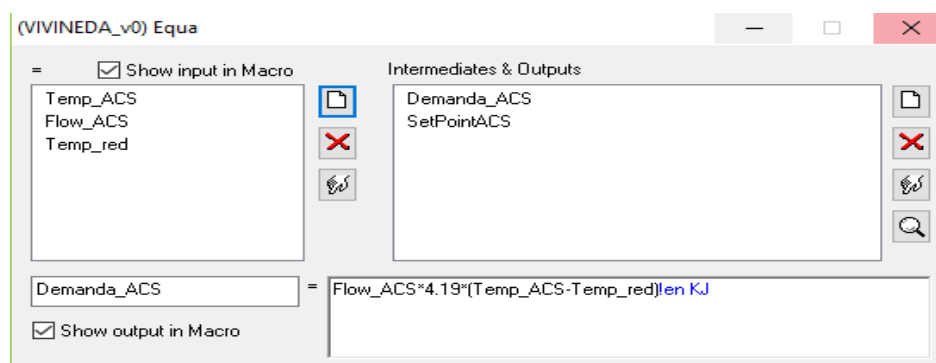


Figura 96. Ecuaciones generadas en la calculadora implementada en el circuito de ACS.

Referente al output *SetPointACS* se ha asignado directamente su valor en la ecuación, el cual es de 45°C.

#### 4.4.5.2.3 Conexiones

A continuación, se muestran las conexiones del termostato con el tanque de ACS en la Figura 97 y la Tabla 99:

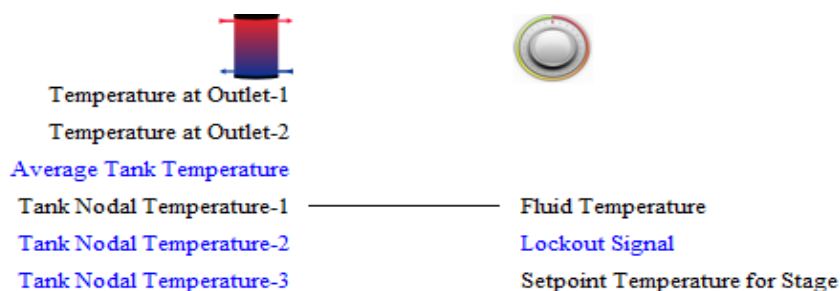


Figura 97. Conexiones entre el tanque ACS y el termostato. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 99. Tabla con las conexiones entre el tanque de ACS y el termostato. Fuente: propia.

Conexiones Tanque ACS → Termostato ACS		
Outputs Tanque ACS	Inputs Termostato ACS	Unidades
Temperatura en el nodo 1	Temperatura del fluido	°C

Además de recibir inputs del tanque, el termostato ACS también recibe inputs de la calculadora. En la Figura 98 y la Tabla 100 la se muestran las conexiones:

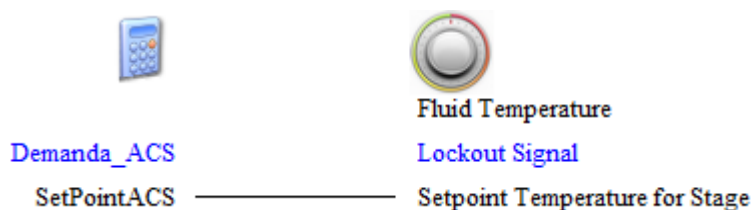


Figura 98. Conexión de la calculadora al termostato ACS. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 100. Tabla con las conexiones entre la calculadora del circuito de ACS y el termostato. Fuente: propia.

Conexiones Calculadora circuito ACS → Termostato ACS		
Outputs Calculadora	Inputs Termostato ACS	Unidades
SetPointACS	Temperatura de referencia	°C

- **Calculadora ACS**

Finalmente se muestran las conexiones de entrada de la calculadora del circuito de ACS en la Figura 99 y Figura 100 y la Tabla 101 y la Tabla 102:

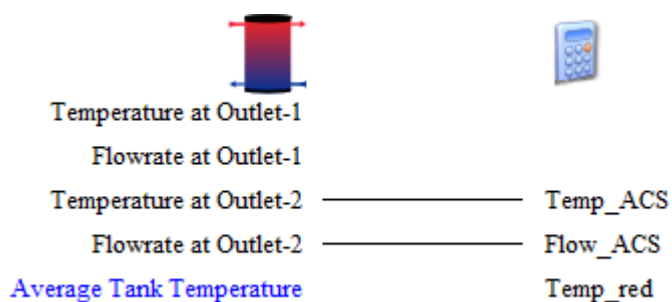


Figura 99. Conexiones del tanque de ACS a la calculadora. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 101. Tabla con las conexiones entre el tanque de ACS y la calculadora. Fuente: propia.

Conexiones Tanque ACS → Calculadora ACS		
Outputs Tanque ACS	Inputs Calculadora ACS	Unidades
Temperatura en la salida 2	Temp_ACS	°C
Caudal de la salida 2	Flow_ACS	kg/hr

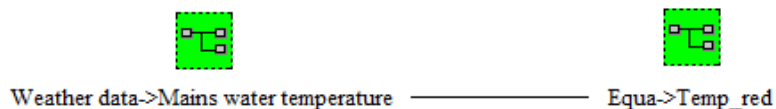


Figura 100. Conexiones entre el fichero del tiempo (Weather Data) y la calculadora de ACS. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 102. Tabla con las conexiones entre el fichero de datos meteorológicos y la calculadora ACS. Fuente: propia.

Conexiones Fichero Datos Meteorológicos → Calculadora ACS		
Outputs Fichero Datos Meteo	Inputs Calculadora ACS	Unidades
Temperatura del agua de red	Temp_red	°C

- **Calculadora general control**

Es necesario hacer llegar el control establecido en el sistema de ACS hasta la calculadora de control general, ya que es ahí donde se definen todas las ecuaciones para poder controlar la bomba de calor. A continuación, en la Figura 101 y la Tabla 103 se muestra la conexión:

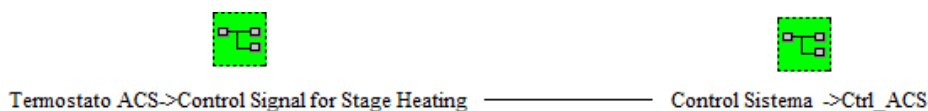


Figura 101. Conexión entre la calculadora del sistema ACS y la calculadora de control general. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 103. Tabla con la conexión entre la calculadora ACS y la calculadora de control general. Fuente: propia.

Conexiones Calculadora ACS → Calculadora Control General	
Output Calculadora ACS	Inputs Calculadora General
Señal de control para la etapa de calefacción	Ctrl_ACS

El sistema final de ACS con el control incorporado se puede observar en la Figura 80 del apartado 4.4.4.1.

#### 4.4.5.3. Implementación del control a la bomba de calor

Para indicar a la bomba de calor cuando debe dar frío o bien calor es necesario implementar un control. El control de la bomba de calor se realiza a partir de las ecuaciones determinadas en la calculadora general de control. Una vez explicados todos los inputs de esta calculadora, se procede a explicar sus outputs y las ecuaciones definidas. Se muestran las ecuaciones que afectan al control de la bomba de calor con una flecha de color azul, tal y como se observa en la Figura 102:



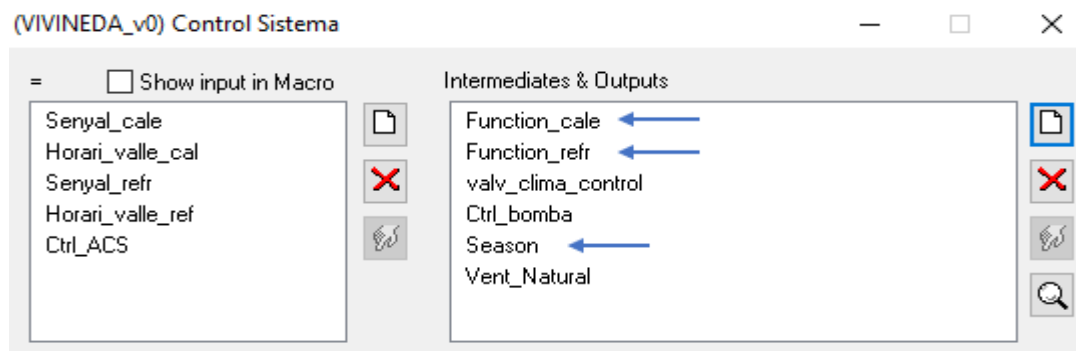


Figura 102. Calculadora de control general con los outputs hacia la bomba de calor marcados. Fuente: Simulation Studio.

A continuación, se van a explicar las ecuaciones determinadas en la calculadora de control general dirigidas al control de la bomba de calor:

- *Season*

Tal y como se ha comentado en el apartado 4.4.5.1, se limita el uso del sistema de climatización dependiendo de la época del año. Para poder controlarlo es necesario introducir una ecuación lógica (Eq. 18):

$$(Eq. 18) \quad Season = and(gt(time, 3216), lt(time, 6696))$$

- *Function\_cale*

La ecuación *Function\_cale* es una función lógica que como resultado da el valor de 0 (apagado) y 1 (encendido). Esta da información a la bomba de calor de si es necesario que dé calor o no, dependiendo de si existe una demanda de calefacción. A continuación, se muestra la ecuación introducida (Eq. 19):

$$(Eq. 19) \quad Function\_cale = or(eql(Senyal\_cale * Horari\_valle\_cal * (1 - Season), 1), eql(Ctrl\_ACS, 1))$$

- *Function\_refr*

La ecuación *Function\_refr* es también una función lógica que da como resultado valores de 0 (apagado) y 1 (encendido). Comunica a la bomba de calor si es necesario que dé frío dependiendo de si existe una demanda de refrigeración o no en la vivienda. A continuación, se muestra la ecuación (Eq. 20):

$$(Eq. 20) \quad Function\_refr = (Senyal\_refr * Season) * (eql(Function\_cale, 0)) * (eql(Horari\_valle\_ref, 0))$$

- **Conexiones control bomba de calor**

na vez definidas las ecuaciones para controlar la bomba de calor, es necesario conectarlas para que el control tenga lugar, en la Figura 103 y la Tabla 104 se observan las conexiones:

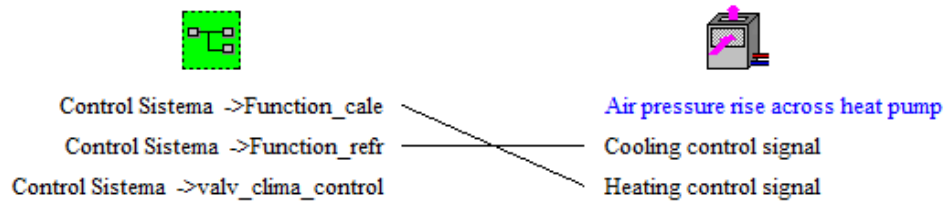


Figura 103. Conexiones entre la calculadora de control general (Control Sistema) y la bomba de calor. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 104. Tabla con las conexiones entre la calculadora de control general y la bomba de calor. Fuente: propia.

Conexiones Calculadora Control General (Control Sistema) → Bomba de calor	
Outputs Calculadora Control General (Control Sistema)	Inputs Bomba de calor
Function_cale	Señal de control de calefacción
Function_refr	Señal de control de refrigeración

#### 4.4.5.4. Implementación del control a la bomba de circulación

Además de asegurar el control de la bomba de calor, también es necesario establecer un control para la bomba de circulación para que ésta funcione y asegure que el caudal vuelva a la bomba de calor. En la Figura 104 se observa la función encargada de este control:

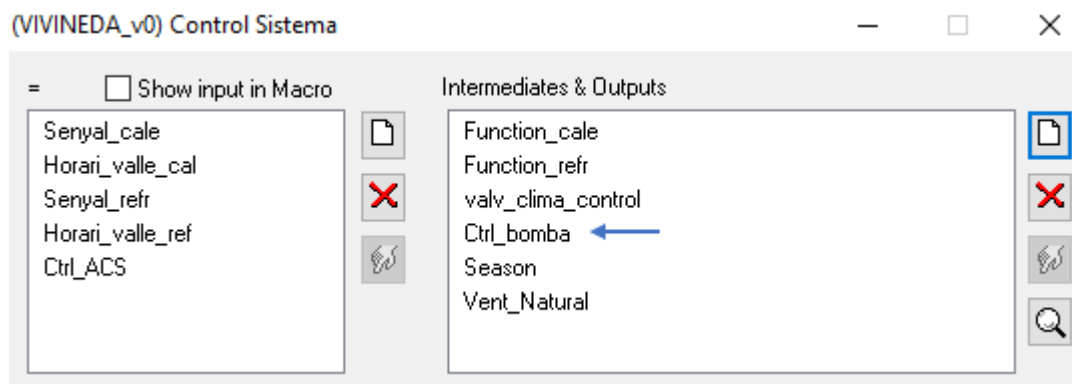


Figura 104. Calculadora de control general con los outputs hacia la bomba de circulación marcados. Fuente: Simulation Studio.

A continuación, se explica la ecuación definida para el control de la bomba de circulación (Eq. 21):

$$(Eq. 21) \quad Ctrl\_bomba = or(eql(Function\_cale, 1), eql(Function\_refr, 1))$$

La ecuación *Ctrl\_bomba* sirve para indicar a la bomba de circulación si debe funcionar o no. La ecuación devuelve un resultado lógico: 1 (encendido) y 0 (apagado).

- **Conexiones control bomba de circulación**

A continuación, en la Figura 105 y la Tabla 105 se muestra la conexión de control a la bomba de circulación:

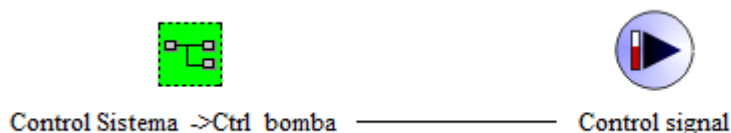


Figura 105. Conexión de la ecuación Ctrl\_bomba de la calculadora de control general con la bomba de circulación. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 105. Tabla con las conexiones entre la calculadora de control general y la bomba de circulación. Fuente: propia.

Conexiones Calculadora Control General (Control Sistema) → Bomba de circulación	
Outputs Calculadora Control General (Control Sistema)	Inputs Bomba de circulación
Ctrl_bomba	Señal de control

#### 4.4.5.5. Implementación del control de la válvula general

Otro componente que necesita una señal de control es la válvula general implementada en la simulación. La válvula general tiene como función mandar el fluido hacia la válvula de climatización o bien hacia el sistema de ACS. El control de esta válvula, a diferencia de los otros controles previamente explicados, no viene definido como una ecuación de la calculadora de control general.

Se controla la válvula general a través del termostato implementado en el sistema de ACS. El control sigue la siguiente estrategia: cuando el tanque de ACS está por debajo de la temperatura de referencia, el termostato manda una señal a la válvula general para que esta se active. Al activar la válvula general, permite la llegada de fluido caliente hasta el tanque para así llenarlo y mantenerlo a la temperatura deseada. La válvula general distribuye el fluido hacia la válvula de climatización cuando la señal de control es 0, y distribuye hacia el tanque de ACS cuando la señal es 1.

- **Conexiones control válvula general**

A continuación, en la Figura 106 y la Tabla 106 se muestra la conexión realizada para el control de la válvula general:

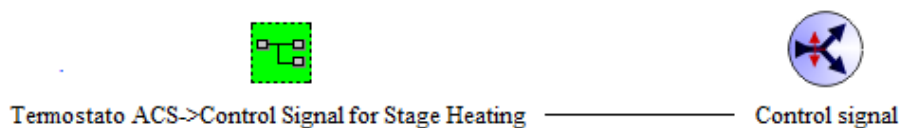


Figura 106. Conexiones del termostato del sistema de ACS con la válvula general. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 106. Tabla con las conexiones entre el termostato ACS y la válvula general. Fuente: propia.

Conexiones termostato ACS → Válvula general	
Output termostato ACS	Input válvula general
Señal de control para la etapa de calefacción	Señal de control

#### 4.4.5.6. Implementación del control de la válvula de climatización

Otra válvula que requiere control es la válvula de climatización, la cual tiene como función distribuir el fluido o bien hacia el sistema de refrigeración o bien hacia el sistema de calefacción. El control de esta válvula viene definido en la calculadora de control general. A continuación, en la Figura 107 se muestra la calculadora general con la función marcada con una flecha:

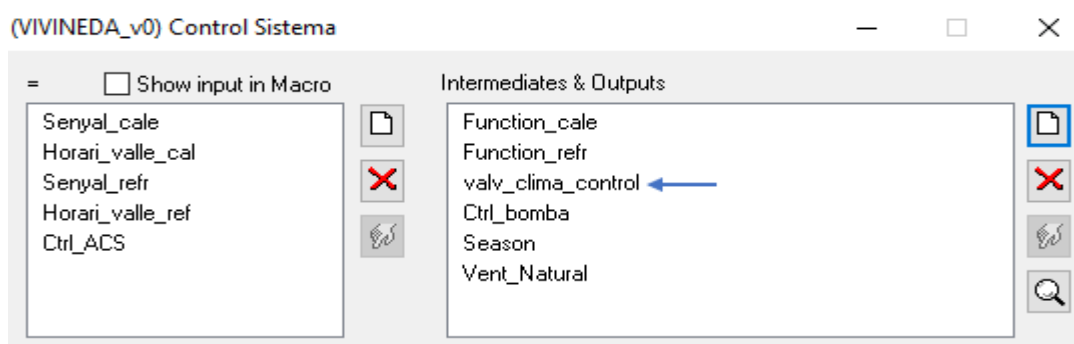


Figura 107. Calculadora de control general con los outputs hacia la válvula de climatización marcados. Fuente: Simulation Studio.

A continuación, se explica la ecuación marcada en la (Eq. 22):

$$(Eq. 22) \quad Valv\_clima\_control = lt(Function\_cale, 1) * gt(Function\_refr, 0)$$

La ecuación (Eq. 22) devuelve un resultado lógico, si devuelve un 1 significa que la válvula de climatización dirigirá el fluido hacia el sistema de refrigeración, en cambio, si la válvula de climatización recibe un 0 desde la señal de control, dirigirá el fluido hacia el sistema de calefacción.

- **Conexiones control válvula climatización**

A continuación, en la Figura 108 y la Tabla 107 se muestra la conexión realizada:

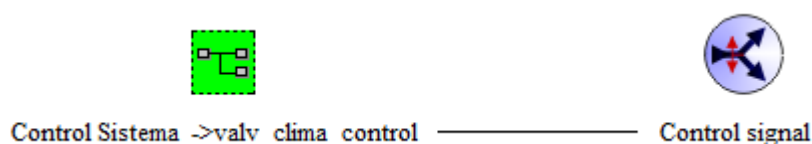


Figura 108. Conexión de la ecuación de control valv\_clima\_control de la calculadora de control general con la bomba de circulación. Fuente: Simulation Studio.

Tabla 107. Tabla con las conexiones entre la calculadora de control general y la válvula de climatización. Fuente: propia.

Conexión calculadora de control general → Válvula de climatización	
Output de la calculadora de control general	Input válvula climatización
Valv_clima_control	Señal de control

#### 4.4.5.7. Control de la ventilación natural

Para el sistema de refrigeración, además del uso de los fancoils también se utiliza la estrategia de ventilación natural. La ventilación natural se usa durante la noche, mientras los usuarios de la vivienda duermen. El horario en el que funciona la ventilación natural se encuentra dentro de las horas valle (rango nocturno).

Es necesario implementar un control para que se active la estrategia de ventilación natural. El control se determina en una ecuación dentro de la calculadora de control general. A continuación, en la Figura 109 se muestra la calculadora con la ecuación de control de la ventilación natural marcada con una flecha azul:

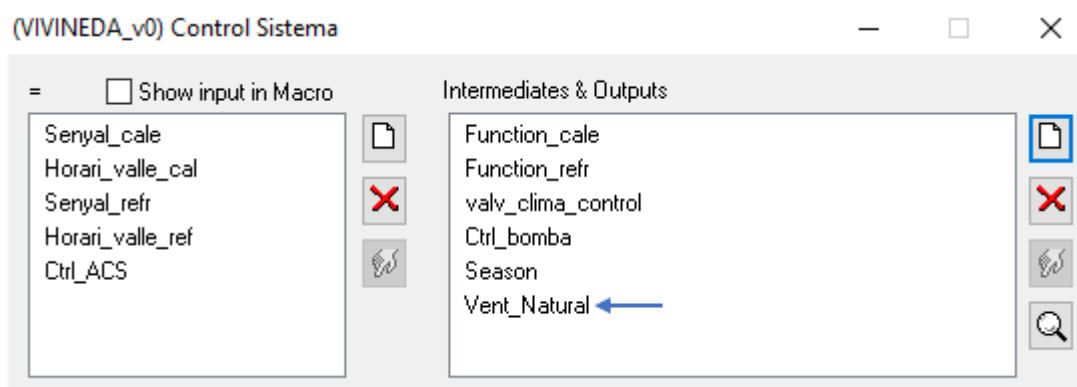


Figura 109. Calculadora de control general con la ecuación de control de la ventilación natural marcado. Fuente: Simulation Studio.

A continuación, se muestra detalladamente la ecuación en la (Eq. 23):

$$(Eq. 23) \quad Vent\_Natural = 4 * (eq1(Horari\_valle\_ref, 1)) * (eq1(Senyal\_refr, 1))$$

La ecuación (Eq. 23) devuelve o bien un 4 o un 0. El número 4 hace referencia al número de renovaciones por hora determinadas para la ventilación natural, el complemento que lo multiplica es o bien un 1 o bien un 0. Si da un 1 el resultado de la ventilación natural será un 4 y se va a activar, en cambio, si el complemento que multiplica es un 0 significará que la ventilación natural no se va a activar.

- **Conexiones ventilación natural**

A continuación, en la Figura 110 y la Tabla 108 se muestra la conexión realizada:

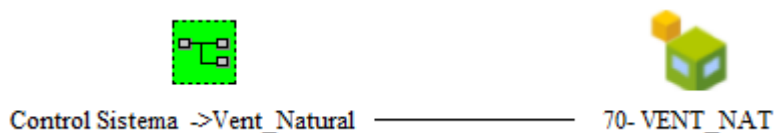


Figura 110. Conexión entre la calculadora de control general y la vivienda (Type 56). Fuente: Simulation Studio.

Tabla 108. Tabla con la conexión entre la calculadora de control general y el modelo de la vivienda. Fuente: propia.

Conexión calculadora de control general → Modelo de la vivienda (Type 56)	
Output de la calculadora de control general	Input modelo de la vivienda
Vent_Natural	VENT_NAT

#### 4.4.5.8. Implementación del control de las protecciones solares

Para evitar el sobrecalentamiento durante el verano se han implementado unas protecciones solares que se activan cuando la vivienda recibe una radiación muy directa. Las protecciones solares se han implementado en las partes de la vivienda donde se recibe una mayor radiación, estas zonas corresponden a la zona térmica P1\_E ubicada en la planta baja y la zona térmica P2\_E, ubicada en la primera planta.

El control de estas protecciones solares viene definido en la macro *Control External Shading*. Esta macro estaba ya realizada y se ha adaptado a este proyecto. Se puede observar el interior de esta macro en la Figura 111:

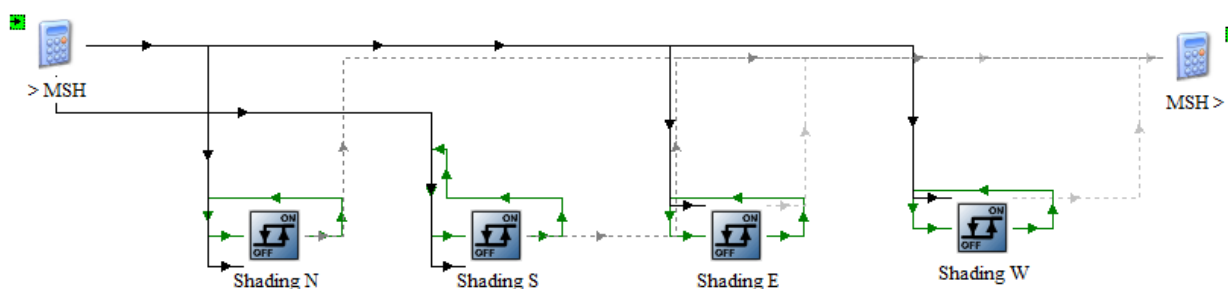


Figura 111. Circuito de la macro Control External Shading. Fuente: Simulation Studio.

En la Figura 111 se puede observar que la macro está formada por dos calculadoras y 4 controladores. Cada uno de estos controladores se encarga de las protecciones solares de cada una de las orientaciones, mandando una señal de activación a las protecciones solares cuando la radiación dirigida a las ventanas de la orientación de cada controlador sea elevada. Las orientaciones que tienen en cuenta los controladores son: norte, sur, este y oeste. Para el caso de estudio solo se han instalado protecciones solares en las zonas térmicas P1\_E y P2\_E ya que son las que están más expuestas a la radiación solar debido a su orientación. Las zonas térmicas P1\_E y P2\_E están orientadas al oeste, entonces el único controlador que va a actuar en la vivienda va a ser el controlador *Shading W*. Todos los inputs y outputs de estos controladores vienen definidos en las calculadoras >MSH y MSH<, así como las funciones matemáticas.

- **Conexiones protecciones solares**

A continuación, en la Figura 112 y la Tabla 109 se muestra la conexión realizada:

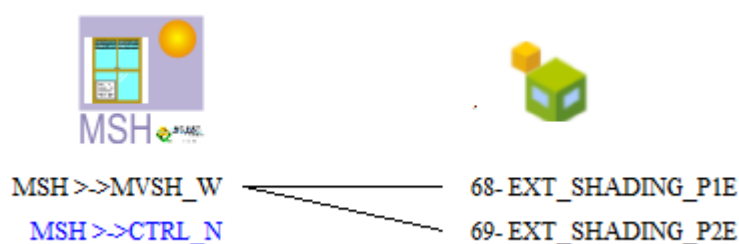


Figura 112. Conexiones provenientes de la macro Control External Shading con el modelo de la vivienda (Type 56). Fuente: Simulation Studio.

Tabla 109. Tabla con las conexiones entre la macro Control External Shading y el modelo de la vivienda. Fuente: propia.

Conexión macro Control External Shading → Modelo de la vivienda (Type 56)	
Output de la macro Control External Shading	Input modelo de la vivienda
MVSH_W	EXT_SHADING_P1E
	EXT_SHADING_P2E

## 5. Resultados

### 5.1. Evaluación de los datos monitorizados

#### 5.1.1. Cálculo de indicadores de energía

##### 5.1.1.1. Eficiencia energética [Level(s) 1.1]

##### 5.1.1.1.1 Energía final

El análisis de la energía final consumida en la vivienda se realiza a partir de los datos de consumo eléctrico de las facturas. A partir de estos, se han realizado una serie de gráficos para así poder analizar y extraer conclusiones referentes al consumo de la vivienda.

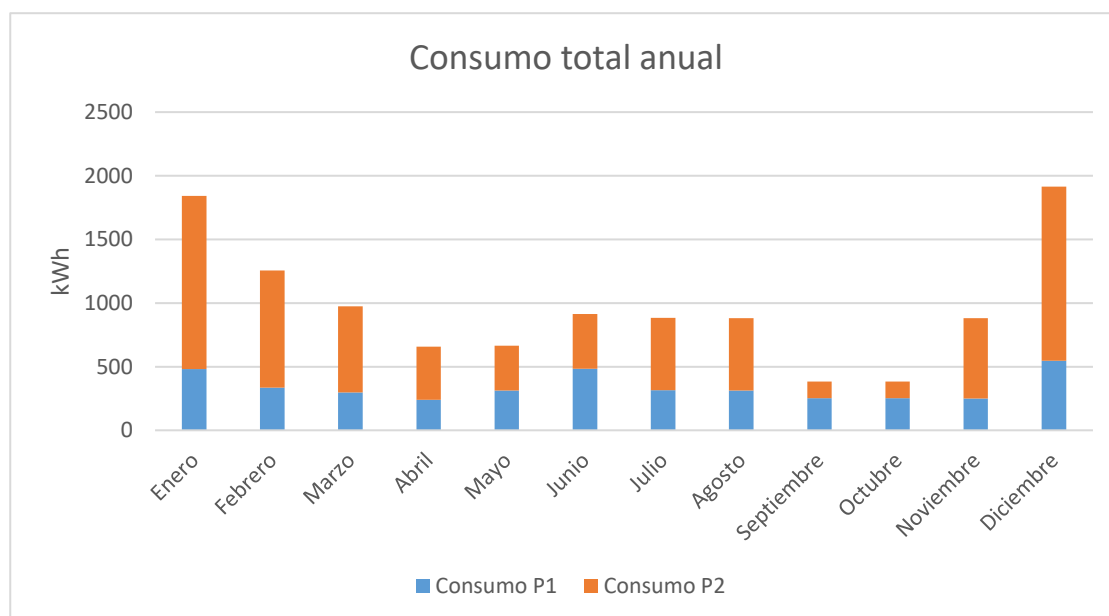


Figura 113. Gráfico del consumo mensual durante el año 2017. Fuente: propia.

Tal y como se observa en la Figura 113, las barras del gráfico están divididas entre el consumo en las horas pico (P1) y las horas valle (P2). Anteriormente se ha comentado que el consumo de todos los sistemas se prioriza en las horas valle, es por eso que el consumo durante estas horas es considerablemente mayor. El sistema de refrigeración combina durante las horas valle el uso de los fancoils (rango diurno) con la ventilación natural (rango nocturno). Como mayor sea el consumo en P2, mayor será el ahorro económico.



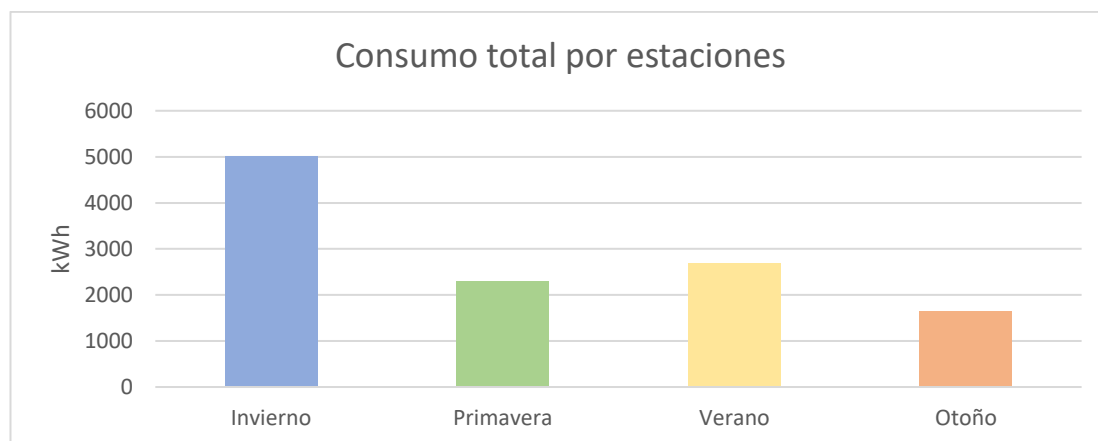


Figura 114. Gráfico del consumo estacional durante el año 2017. Fuente: propia.

En la Figura 113 y en la Figura 114 se puede observar que el mayor consumo se concentra en los meses de invierno, concretamente en diciembre y enero llegando a los 5000 kWh. Esto es debido a la utilización del sistema de suelo radiante para la calefacción. Referente al consumo de las otras tres estaciones, primavera, verano y otoño, es bastante inferior al de invierno. Aun así, en verano se observa un ligero aumento con casi 3000 kWh de consumo debido al uso del sistema de refrigeración con fancoils.

Aunque en las estaciones extremas se usen tanto sistema de calefacción como de refrigeración, el consumo en verano es mucho menor ya que el sistema de refrigeración se usa con menos frecuencia y, además, la vivienda dispone de protecciones solares, gracias a las cuales se puede llegar a reducir considerablemente el consumo energético.

El valor total anual de la energía final es el siguiente de la Tabla 110:

Tabla 110. Valor de la energía final anual de la vivienda. Fuente: propia.

Indicador de eficiencia energética		
Energía final	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
	11634	50,22

Según Red Eléctrica española (REE), el consumo medio mensual de un hogar es de 270 kWh que corresponde a un consumo anual de aproximadamente 19440 kWh. Siendo más específicos y dividiendo el consumo por zonas geográficas dependiendo del clima, los valores de referencia de una vivienda unifamiliar se muestran en la Tabla 111.

Tabla 111. Valores de referencia del consumo medio anual según zonas geográficas de España. Fuente: REE.

Zona mediterránea	Zona continental	Zona atlántica
14598 kWh	21445 kWh	21670 kWh

La vivienda está ubicada en Zaragoza que pertenece a la zona continental, así pues, en comparación con la media española en esta zona, el consumo es mucho menor llegando a ser casi la mitad. Esto es debido a las características físicas y estructurales de la vivienda en cuestión las cuales están diseñadas específicamente según las condiciones meteorológicas de su ubicación y así poder ahorrar más en el consumo eléctrico.

#### 5.1.1.1.2 Energía primaria

Para determinar el indicador de energía primaria, se parte de la energía final comentado anteriormente y los factores de conversión indicados en la Tabla 25. Seguidamente en la Tabla 112 se muestran los valores correspondientes a este indicador:

Tabla 112. Valores de energía primaria de la vivienda. Fuente: propia.

Indicador de eficiencia energética		
Energía Primaria	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
(C <sub>EP,total</sub> ) Energía primaria total	27956,50	120,69
(C <sub>EP,nren</sub> ) Energía primaria no renovable	23349,43	100,80
(C <sub>EP,ren</sub> ) Energía primaria renovable	4607,06	19,89

#### 5.1.1.2. Potencial calentamiento Global (GWP) [Level(s) 1.2]

Primero, para determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> sobre el consumo final de energía, se parte de la energía final comentado anteriormente y los factores de conversión indicados en la Tabla 26. Seguidamente en la Tabla 113 se muestra el valor correspondiente a este indicador:

Tabla 113. Valor de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda. Fuente: propia.

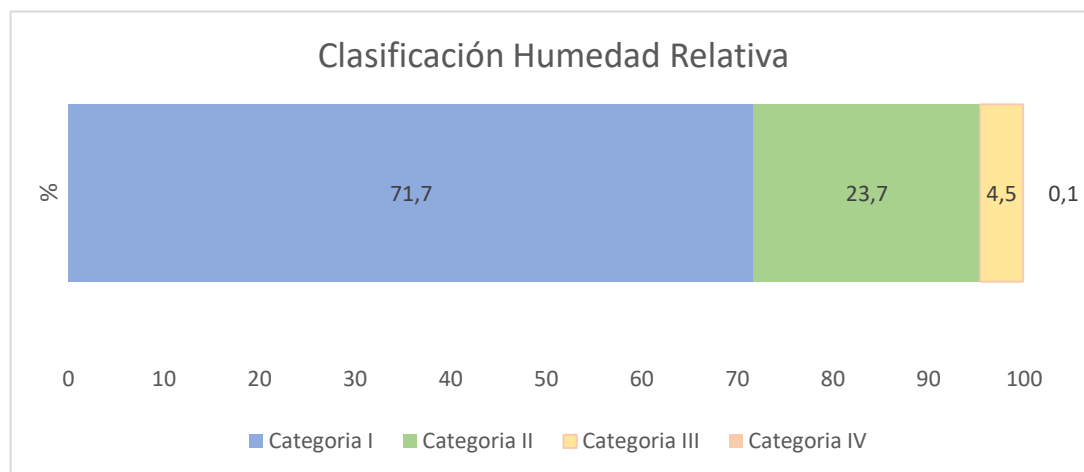
Indicador del potencial del calentamiento global		
Emisiones de CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ]	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
	4153,34	17,93

Según el IPCC teniendo en cuenta el CO<sub>2</sub> como GEI, da como resultado que el valor del GWP es igual a 1.

## 5.1.2. Cálculo de indicadores de confort

### 5.1.2.1. Calidad del aire [Level(s) 4.1.1]

En este proyecto se ha optado por evaluar la humedad relativa con relación a la determinación de la calidad del aire en el interior de la vivienda estudiada. En la Figura 115 se muestra el porcentaje de tiempo durante un año en el cual la humedad relativa del aire interior se encuentra dentro de los rangos de las diferentes categorías establecidas en la Tabla 31.



*Figura 115. Resultados de la humedad relativa interior. Fuente: propia.*

Como se puede observar en la Figura 115 el edificio se encuentra la mayoría del tiempo, exactamente un 71,7% del total anual dentro de la categoría I la cual se refiere a un estado ideal dentro de los valores de referencia. Las categorías II y III corresponden con un 23,7% y 4,5 %respectivamente, por lo tanto, son valores minoritarios en comparación con la categoría I. Por último, la categoría IV con un valor prácticamente despreciable, indica que casi no hay ningún estado de malestar o incomodidad a causa de la humedad relativa.

En conclusión, se puede decir que más de la mitad del año los habitantes conviven en una situación ideal en referencia a la calidad del aire.

### 5.1.2.2. Tiempo fuera del rango de confort [Level(s) 4.2]

Tal y como se ha especificado anteriormente se han calculado los índices PPD y PMV para evaluar el rango de confort durante un año.

Se muestran los resultados del índice PMV en la Figura 116 clasificados por categoría y por signo (p: positivo, n: negativo), es decir, el signo negativo corresponde a la incomodidad por frío y el signo positivo el tiempo de incomodidad por calor.

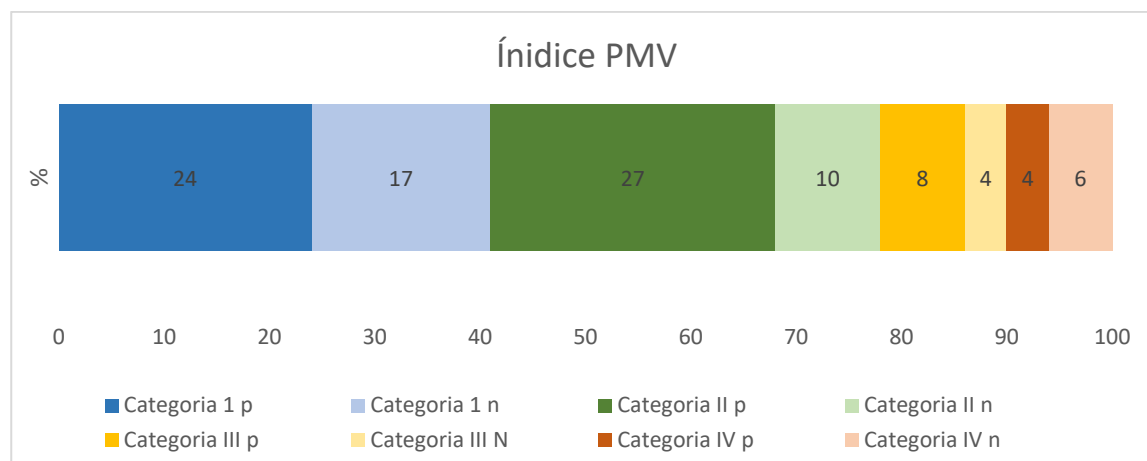


Figura 116. Resultados de la clasificación del PMV en categorías. Fuente: propia.

Claramente se puede definir que el confort de la vivienda cumple con un alto nivel de expectativa llegando a estar entorno al 30% del tiempo entre los valores de la categoría I, además de un 40% dentro de la categoría II. Sumando así un 78% que corresponde al tiempo en el cual el entorno cumple con los requisitos marcados. Contrariamente, solo un 12% del tiempo en un año corresponde con un entorno moderado aceptable y siendo aún inferior, un 8% de los valores están fuera del rango establecido que corresponde a la categoría IV.

Diferenciando entre los valores positivos y negativos que indican la sensación térmica por notar calor o frío, se puede decir que puede haber más incomodidad debido al calor ya que los porcentajes de los valores positivos son más altos.

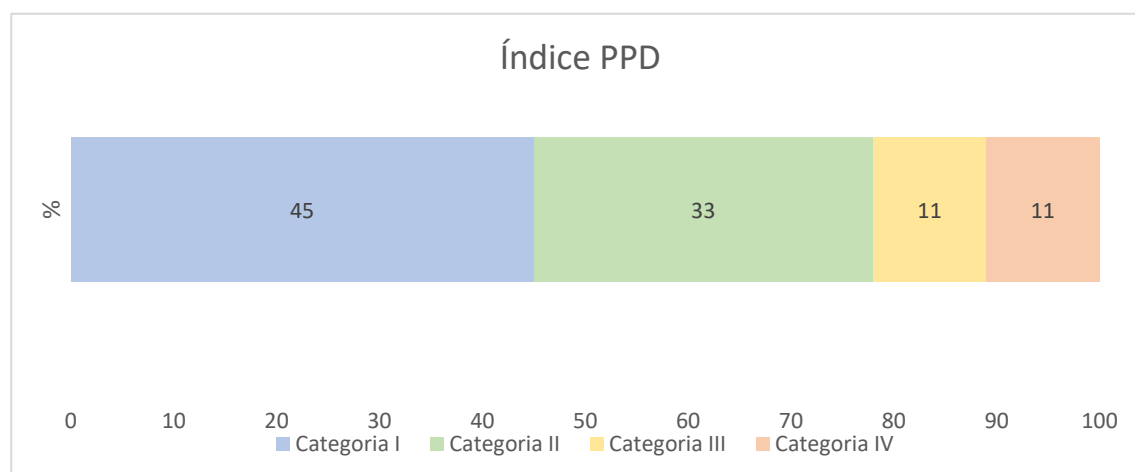


Figura 117. Resultados de la clasificación del PPD en categorías. Fuente: propia.

En cuanto al indicador PPD que determina el porcentaje de insatisfechos se ve claramente que la mayoría del tiempo se encuentra dentro de las categorías I y II con un 45% y un 33% respectivamente,

así pues, la sensación es de comodidad más que de incomodidad. Ya que las otras dos categorías corresponden con un 11%

En conclusión, el ambiente térmico de la vivienda y la sensación de comodidad para el cuerpo en su conjunto de los habitantes se adecua perfectamente a las condiciones requeridas, lo cual es coherente con los resultados de la encuesta.

### 5.1.2.3. Modelo Adaptativo

Para el cálculo de este indicador, se ha utilizado la Figura 27 para clasificar y graficar las temperaturas operativas interiores en función de la temperatura media exterior. El resultado se observa en la Figura 118:

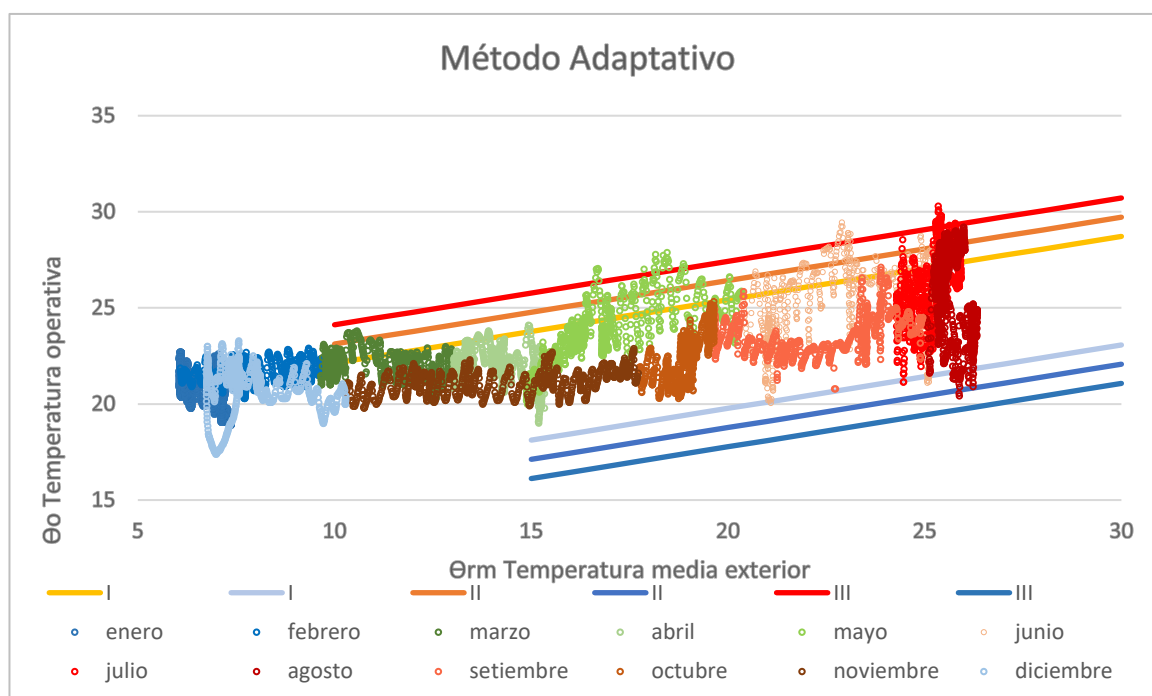


Figura 118. Resultados de la evaluación de las temperaturas interiores con el método adaptativo. Fuente: propia.

Se han graficado las temperaturas por cada mes para así poder determinar en qué época del año se establecen las mejores o peores condiciones y así poder aplicar las medidas adecuadas para su mejora.

En cuanto a la estación de invierno y en parte otoño, las temperaturas se distribuyen a la larga de la parte izquierda del gráfico. En este periodo, las temperaturas se encuentran dentro de los límites establecidos, es decir, se cumplen las condiciones de confort y diseño de la vivienda.

Por otro lado, las estaciones de verano y parte de la primavera es cuando las temperaturas son más elevadas y se distribuyen en la parte derecha del gráfico ya que la temperatura media exterior es más

elevada. Especialmente en mayo y junio es cuando las temperaturas sobrepasan los niveles superiores establecidos. Esto es debido a que las temperaturas en esta época empiezan a ascender, pero aun no se utiliza demasiado la refrigeración mecánica y no están tan reguladas, ya que se prioriza la ventilación natural.

Sin embargo, haciendo una visión general se puede determinar que las condiciones térmicas interiores del edificio se encuentran dentro de los rangos establecidos.

#### 5.1.2.4. Diagrama Givoni

Por último, se hace la representación en un diagrama psicrométrico de los parámetros interiores y exteriores durante el periodo de un año. Como se ha comentado anteriormente, este diagrama se divide en cinco zonas en función de la necesidad requerida. Los resultados se muestran en la Figura 119.

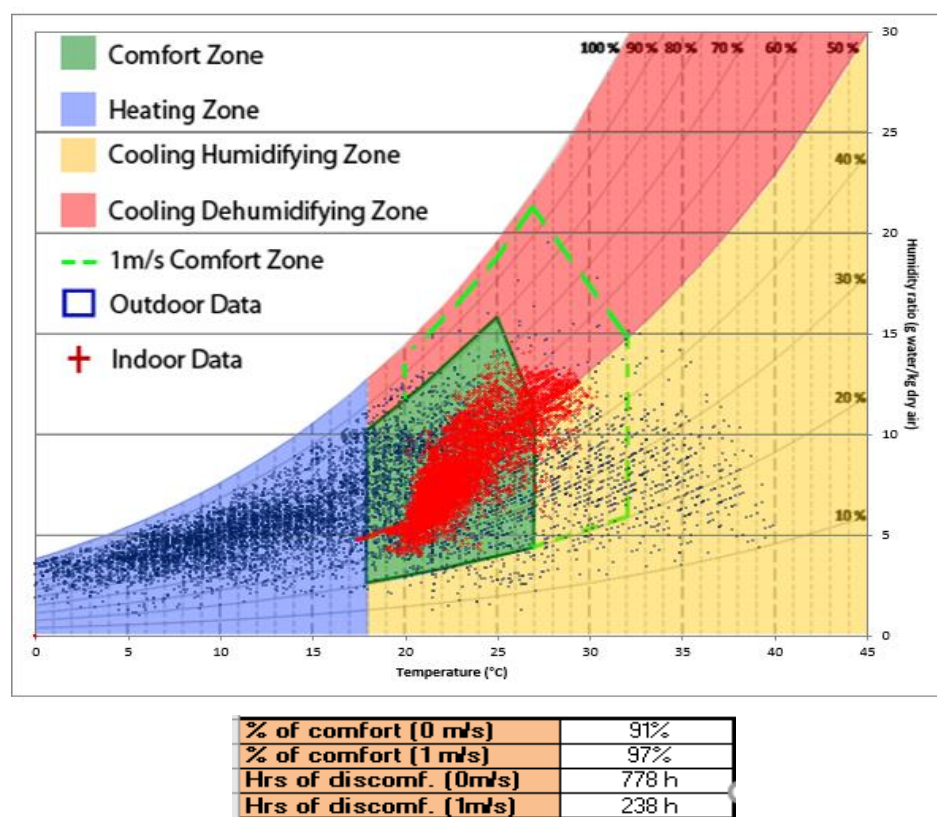


Figura 119. Resultados de la evaluación de las temperaturas interiores y exterior con el diagrama de Givoni. Fuente: propia.

Las temperaturas exteriores corresponden a los puntos de color azul distribuidos a lo largo de todo el gráfico, la parte izquierda corresponde a temperaturas más bajas y la parte derecha a temperaturas más elevadas para los meses de verano.

Lo esencial en este gráfico es fijarse en los puntos rojos que corresponde a la distribución de las temperaturas interiores de la vivienda estudiada, y establecer en que zona se encuentran.

La zona de confort en la que deberían agruparse es la zona de color verde y o zona delimitada por la línea tipo guion de color verde. Esta última corresponde a la zona de confort con una velocidad del viento de 1 m/s, que como se ha comentado anteriormente se ha hecho la hipótesis de que la velocidad tomaba este valor. Esta zona es conveniente solo para edificios que utilizan ventilación natural, en este caso se utiliza ventilación natural durante todo el año y se incrementa el uso en verano.

En resumen, casi todas las medidas se encuentran dentro de las zonas de confort establecidas, la mayoría está dentro de la zona verde, concretamente un 91%, ya que se hace uso tanto de sistema de calefacción en invierno como de refrigeración en verano, que permiten tener un control exhaustivo del ambiente térmico. Todos los valores que están fuera de la zona verde corresponden a casos de sobrecalentamiento, pero aun así están dentro de la línea verde donde se incluye los estados con uso de ventilación natural que corresponde a un 97%.

Como conclusión se puede calificar a la vivienda como un espacio donde se asegura el pleno confort de los habitantes.

## **5.2. Resultados simulación energética**

### **5.2.1. Cálculo de indicadores de energía**

#### **5.2.1.1. Eficiencia energética [Level(s) 1.1]**

##### **5.2.1.1.1 Energía final**

Se realiza el análisis de la energía final consumida de la vivienda de la simulación. A partir de los datos del consumo eléctrico de la bomba de calor y el sistema auxiliar que consta de la bomba de circulación se han realizado una serie de gráficos para así poder analizar y extraer conclusiones referentes al consumo de la vivienda simulada. No se ha tenido en cuenta el consumo de los electrodomésticos y la iluminación ya que en la simulación no se ha hecho su evaluación, y en el CTE no se valora como indicador de cálculo para la energía final. Se ha tenido en cuenta la ocupación anual real de la vivienda, es decir, se han excluido los días en que la vivienda ha estado desocupada, con relación a la respuesta de la encuesta realizada.

En la Figura 120 se muestra el consumo eléctrico mensual durante un año sin tener en cuenta la ocupación real.

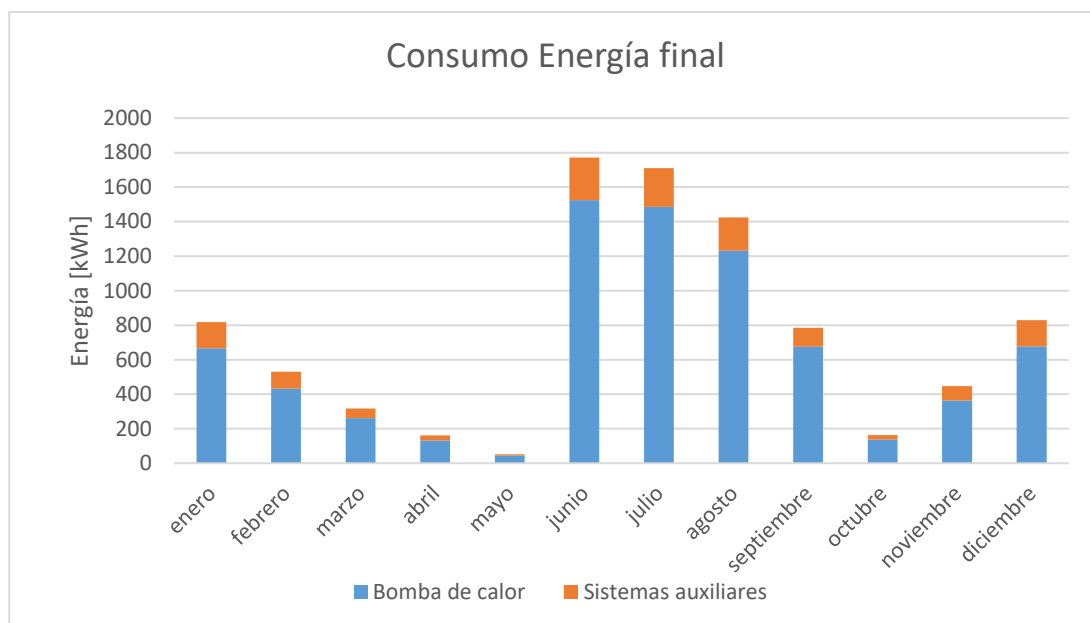


Figura 120. Gráfico de la energía final de la vivienda en la simulación. Fuente: propia.

Para el análisis del consumo eléctrico, se ha diferenciado entre el consumo de la bomba de calor y el consumo del sistema auxiliar para poder saber claramente el consumo de cada sistema en cada mes.

En la Figura 121 se muestra el consumo total por estaciones año sin tener en cuenta la ocupación real.

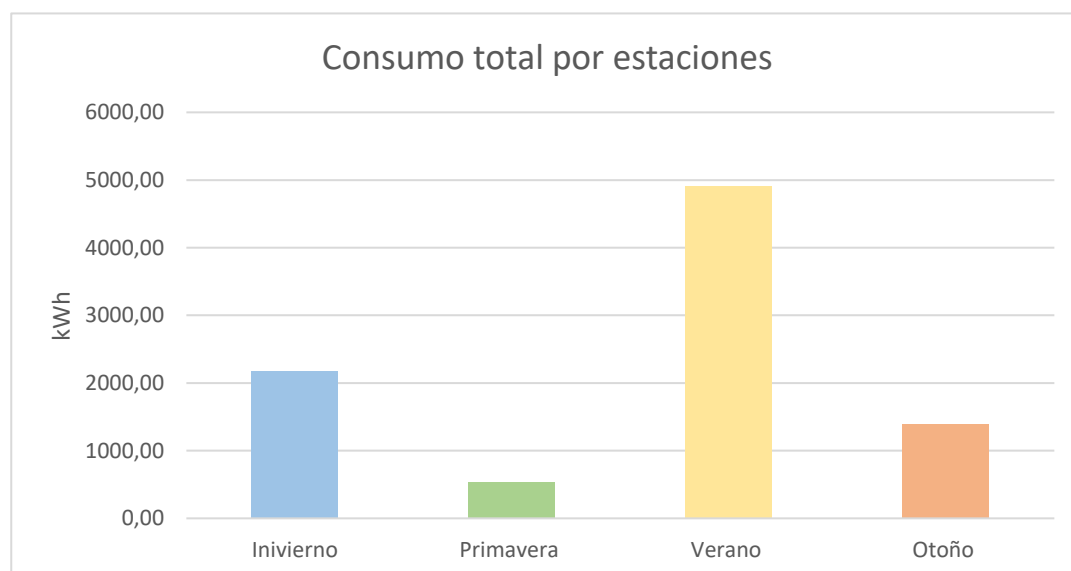


Figura 121. Gráfico de la energía final por estaciones de la vivienda en la simulación. Fuente: propia.

Así pues, se puede ver claramente que el consumo en los meses de verano es muy superior llegando a valores de casi 1800 kWh en junio, y sumando un total de aproximadamente 5000 kWh. Por lo tanto, el sistema de refrigeración con fancoils es el que consume más energía eléctrica.



El consumo de la bomba de circulación es relativamente bajo y va en relación con el consumo de la bomba de calor, es decir, como más consumo de la bomba de calor más consumo de la bomba de circulación.

Los meses de abril mayo y octubre el consumo es menor con valores por debajo de los 200 kWh ya que no hay sistema de refrigeración, y casi no está activado el sistema de calefacción mediante suelo radiante. En los meses de invierno, especialmente diciembre y enero es cuando se utiliza más este sistema siguiendo de noviembre y febrero con valores que rondan entre los 400 kWh y los 800 kWh. En otoño el consumo total es mayor que en invierno, ya que en setiembre el sistema de refrigeración continua activo y como se ha comentado es el que consume más energía en la simulación.

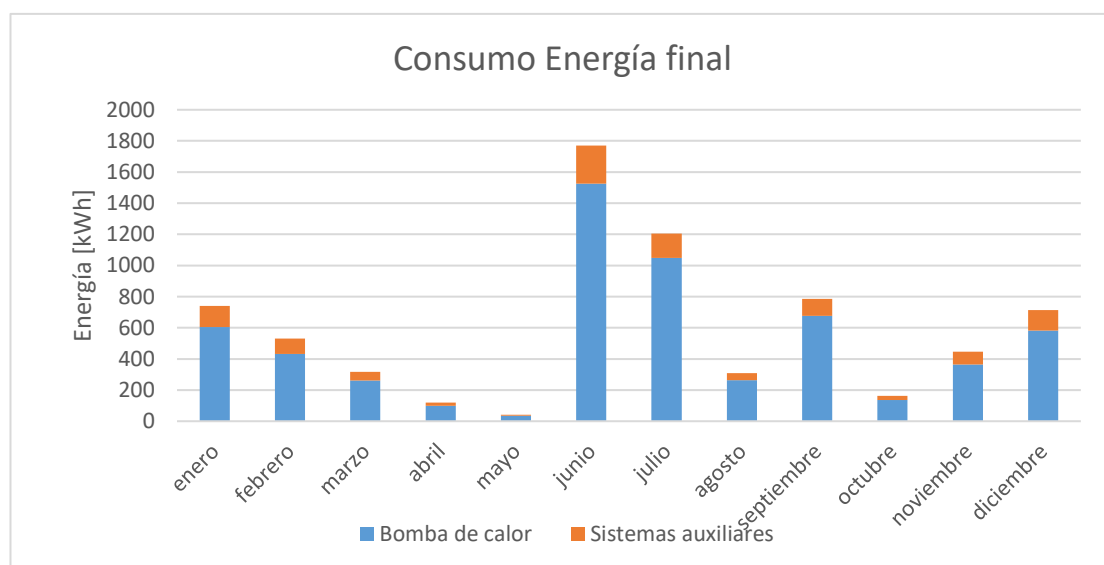
Según la Tabla 114 se muestra el valor total anual de la energía final consumida sin tener en cuenta la ocupación real, como resultado de la simulación de los sistemas de la bomba de calor, bomba de circulación y fancoils.

*Tabla 114. Resultado total anual de la energía final de la vivienda en la simulación. Fuente: propia.*

Indicador de eficiencia energética		
Energía final	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
	9007,10	38,89

- **Ocupación anual de la vivienda:**

Por otro lado, en la Tabla 115 y en la Figura 122 se muestran los resultados de la simulación del consumo eléctrico mensual durante un año teniendo en cuenta la ocupación real.



*Figura 122. Gráfico de la energía final de la vivienda en la simulación teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia*

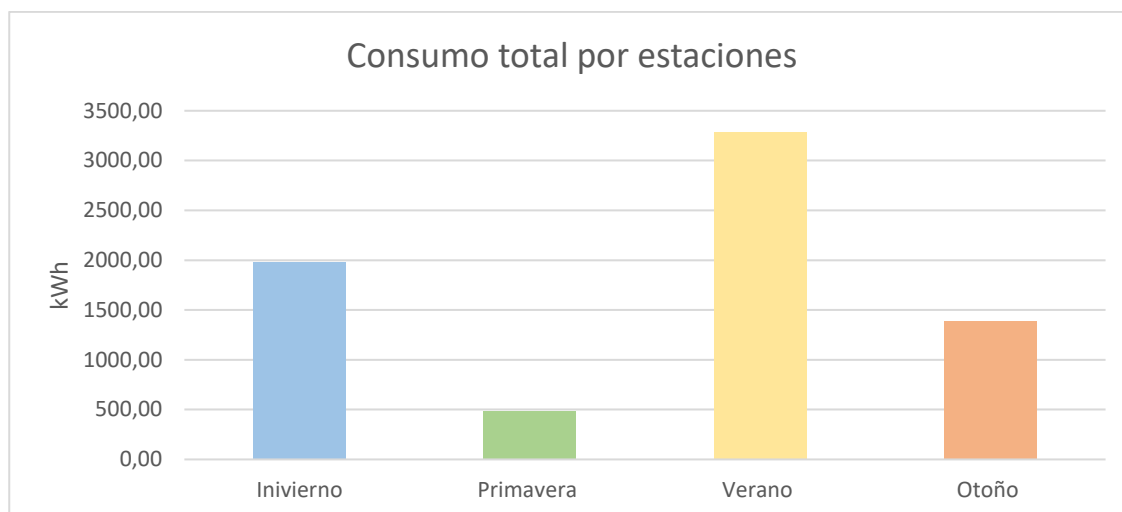


Figura 123. Gráfico de la energía final por estaciones de la vivienda en la simulación teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia.

Observando la Figura 122 y la Figura 123 el consumo en los meses de verano es bastante inferior ya que es cuando los habitantes están más días de vacaciones fuera de la vivienda llegando a valores de entre 3000kWh y 3500 kWh. Sobre todo, el mes de agosto es cuando el consumo baja mucho hasta ser menor a 400 kWh ya que están casi todo el mes fuera, en cambio en junio se mantiene casi igual porque la vivienda está ocupada.

Los meses de invierno, primavera y otoño, el consumo es muy similar ya que solo hay algunos días contados donde la vivienda está desocupada de manera que no afecta demasiado a los resultados.

Con relación a la Tabla 115, el consumo total de energía final es claramente inferior que en la Tabla 114 ya que, en este caso se han excluido aquellos días en que la vivienda esta desocupada.

Tabla 115. Resultado total anual de la energía final de la vivienda en la simulación teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia

Indicador de eficiencia energética		
Energía final	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
	7142,45	30,83

#### 5.2.1.1.2 Energía primaria

Para determinar el indicador de energía primaria, se parte de la energía final comentado anteriormente y los factores de conversión indicados en la Tabla 25. Se hace la valoración tanto de los resultados obtenidos directamente de la simulación como teniendo en cuenta la ocupación anual de la vivienda.

Seguidamente en la Tabla 116 se muestran los valores correspondientes a este indicador sin tener en cuenta la ocupación:

*Tabla 116. Valores de energía primaria de la vivienda en la simulación. Fuente: propia.*

Indicador de eficiencia energética		
Energía Primaria	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
(C <sub>EP,total</sub> ) Energía primaria total	21644,12	93,44
(C <sub>EP,nren</sub> ) Energía primaria no renovable	18077,29	78,04
(C <sub>EP,ren</sub> ) Energía primaria renovable	3566,82	15,39

- **Ocupación anual de la vivienda:**

Seguidamente en la Tabla 117 se muestran los valores correspondientes a este indicador teniendo en cuenta la ocupación:

*Tabla 117. Valores de energía primaria de la vivienda en la simulación teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia.*

Indicador de eficiencia energética		
Energía Primaria	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
(C <sub>EP,total</sub> ) Energía primaria total	17163,32	74,09
(C <sub>EP,nren</sub> ) Energía primaria no renovable	14334,91	61,89
(C <sub>EP,ren</sub> ) Energía primaria renovable	2828,41	12,21

Conviene destacar que los valores teniendo en cuenta la ocupación son inferiores ya que el consumo energético es inferior.

#### **5.2.1.1.3 Demanda energética**

Se realiza el análisis de la demanda de la vivienda a partir de los datos obtenidos de la simulación. A partir de los datos de la demanda de calor del suelo radiante para calefacción, demanda de frío de los fancoils para refrigeración y por último la demanda de ACS, se han realizado una serie de gráficos para así poder analizar y extraer conclusiones.

En este apartado se ha tenido en cuenta la demanda de los electrodomésticos y de la iluminación basados en datos obtenidos de otros estudios, con valores de 3770kWh y 390kWh respectivamente. Asimismo, también se ha valorado con la ocupación anual de la vivienda, para así poder contabilizar y reproducir la demanda total de la vivienda en cuestión

Primero, en la Figura 124 se muestra la demanda mensual durante un año sin tener en cuenta la ocupación real:

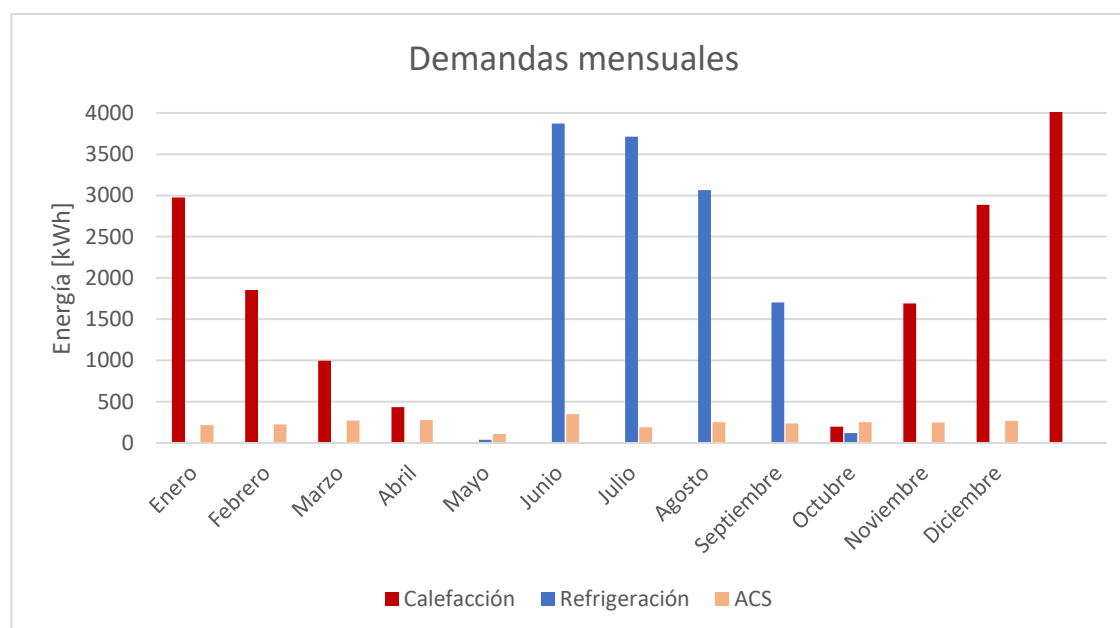
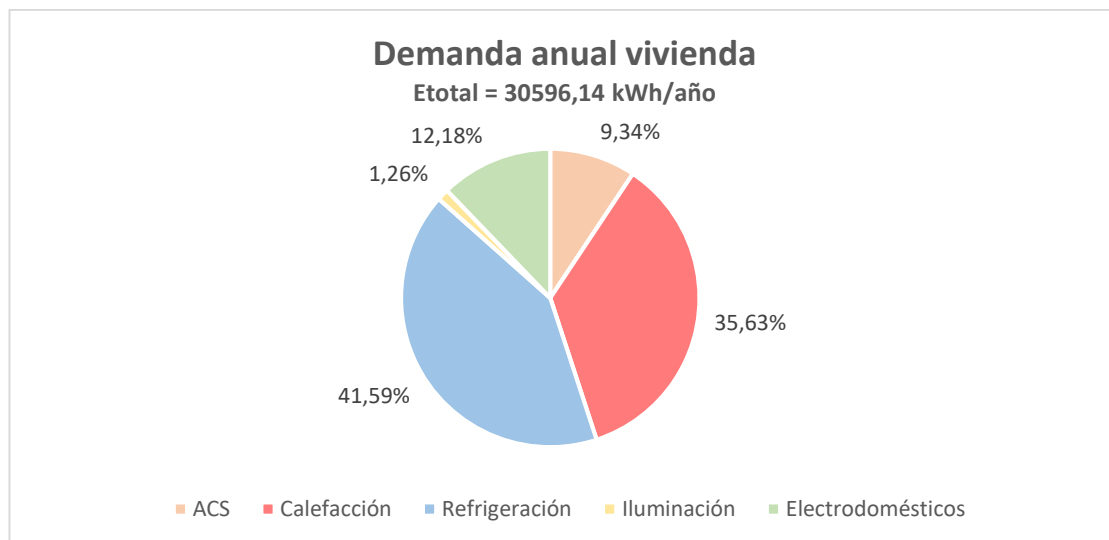


Figura 124. Demanda mensual de la vivienda. Fuente: propia.

Tal y como se puede observar, la demanda de ACS es bastante constante durante todo el año, ya que el perfil diario establecido se mantiene. Por otro lado, la demanda de calefacción corresponde con los meses del *season* de invierno que va empieza en la primera semana de octubre y termina a mediados de mayo. Los meses que hace más frío como diciembre y enero la demanda es considerablemente superior a abril y octubre, por ejemplo, donde la demanda es muy baja ya que empieza a hacer buen tiempo. La demanda de refrigeración corresponde al *season* de verano que va de mediados de mayo a principios de octubre. En mayo la demanda es casi negligible, sin embargo, en junio se eleva hasta casi 4000 kWh siendo el mes con mayor demanda de refrigeración. Los meses siguientes siguen una tendencia de descenso.

En la Figura 125 se muestra un diagrama con los porcentajes correspondientes a la demanda de cada sistema:

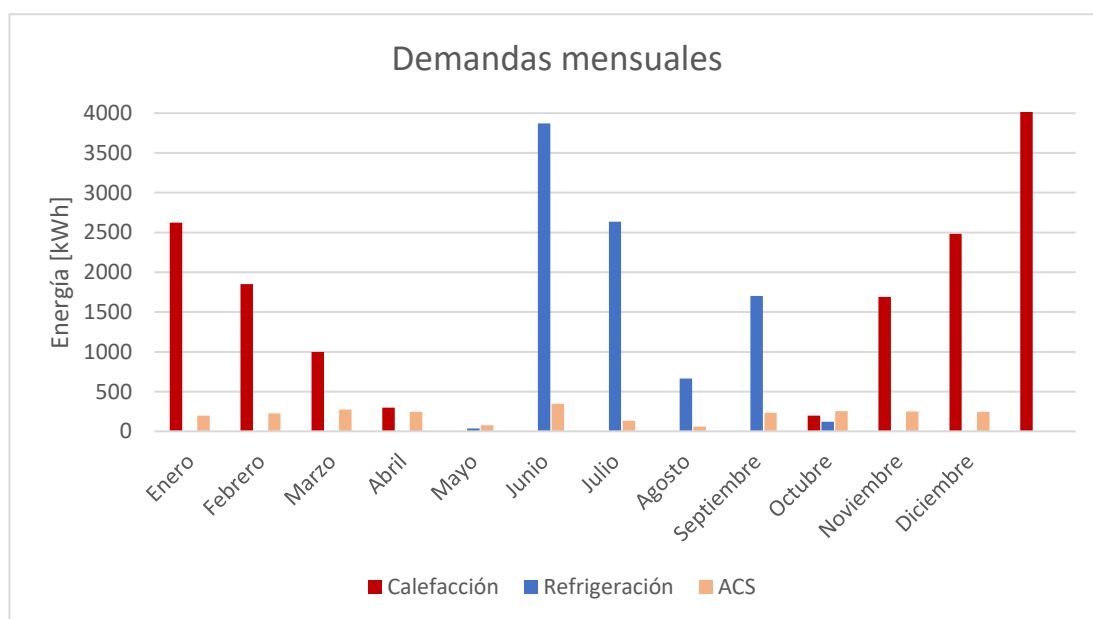


*Figura 125. Demanda anual de la vivienda. Fuente: propia*

En este caso se ha incluido la estimación de la demanda de iluminación y electrodomésticos para una vivienda unifamiliar. Considerando el sistema de climatización corresponde con un total de 77,22% la demanda anual, seguido por la demanda de los electrodomésticos y el ACS y finalmente la demanda de iluminación.

- **Ocupación anual de la vivienda:**

Seguidamente, en la Figura 126 se muestra la demanda mensual durante un año teniendo en cuenta la ocupación real:



*Figura 126. Demanda mensual de la vivienda teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia.*

En general las demandas mensuales son inferiores comparadas con las de la Figura 124 ya que se han excluido los días donde la vivienda estaba desocupada. Cabe destacar, que el mes de agosto es donde hay una disminución más brusca.

En la Figura 127 se muestra un diagrama con los porcentajes correspondientes a la demanda de cada sistema teniendo en cuenta la ocupación real:

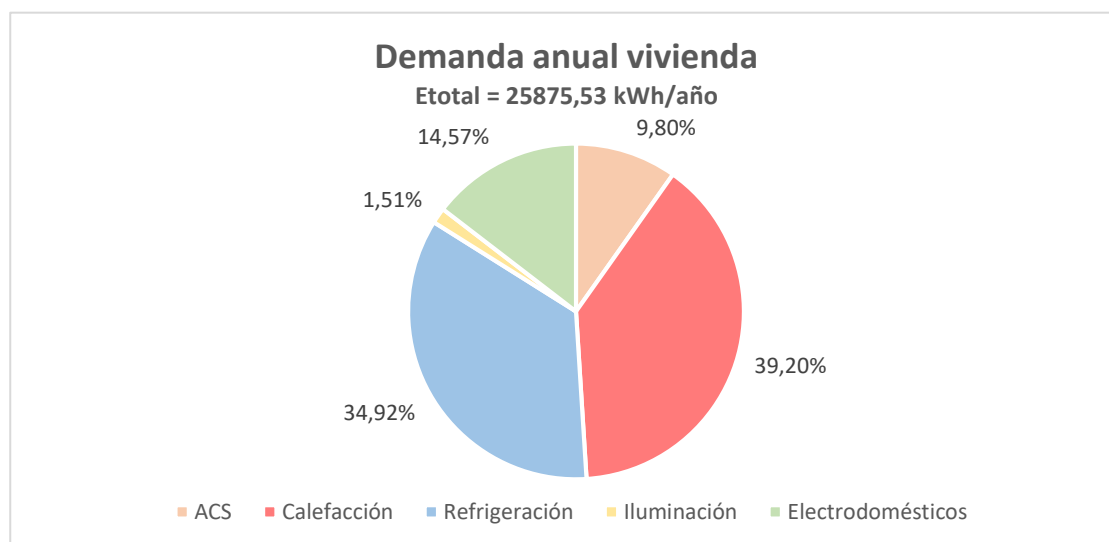


Figura 127. Demanda anual de la vivienda teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia.

Teniendo en cuenta la ocupación de la vivienda la demanda de refrigeración es menor ya que es en verano donde la casa está más tiempo desocupada. Por consiguiente, la demanda de calefacción tiene un peso mayor sobre el total, y las demandas del resto de sistemas son muy semejantes a la Figura 126.

#### 5.2.1.2. Potencial calentamiento Global (GWP) [Level 1.2]

Primero, para determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> sobre el consumo final de energía, se parte de la energía final comentado anteriormente y los factores de conversión indicados en la Tabla 26. Se hace la valoración tanto de los resultados obtenidos directamente de la simulación como teniendo en cuenta la ocupación anual de la vivienda.

Seguidamente en la Tabla 118 se muestra el valor correspondiente a este indicador sin tener en cuenta la ocupación:

Tabla 118. Valor de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda en la simulación. Fuente: propia.

Indicador del potencial del calentamiento global		
Emisiones de CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ]	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
	3215,54	13,88

- **Ocupación anual de la vivienda:**

Seguidamente en la Tabla 119 se muestra el valor correspondiente a este indicador teniendo en cuenta la ocupación:

Tabla 119. Valor de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda en la simulación teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia

Indicador del potencial del calentamiento global		
Emisiones de CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ]	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
	2549,86	11,01

También cabe destacar que los valores teniendo en cuenta la ocupación son inferiores ya que el consumo energético es inferior.

### 5.2.1.3. Recopilación resultados indicadores de energía

En las Tabla 120 y Tabla 121 se muestran los valores totales de los indicadores de energía tanto de los resultados obtenidos directamente de la simulación como teniendo en cuenta la ocupación anual de la vivienda. En este caso, no se tiene en cuenta la demanda de energía de iluminación y electrodomésticos ya que el CTE no lo valora.

Tabla 120. Resumen de los indicadores de energía con y sin teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia

Indicadores de energía	Sin ocupación		Ocupación anual	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
<b>Energía final</b>	9007,12	38,89	7142,45	30,83
<b>(C<sub>EP,total</sub>) Energía primaria total</b>	21644,12	93,44	17163,32	74,09
<b>(C<sub>EP,nren</sub>) Energía primaria no renovables</b>	18077,29	78,04	14334,91	61,89
<b>(C<sub>EP,ren</sub>) Energía primaria renovable</b>	3566,82	15,39	2828,41	12,21
<b>Potencial del calentamiento global</b>	kg CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	kg CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub></b>	3215,54	13,88	2549,86	11,01

Tabla 121. Resumen de la demanda anual con y sin teniendo en cuenta la ocupación. Fuente: propia.

Demanda de cada sistema	Sin ocupación		Ocupación anual	
Demanda	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Sistema calefacción	11031,11	47,62	10142,50	43,79
Sistema refrigeración	12513,71	54,02	9034,59	39,01
ACS	2891,31	12,48	2538,42	10,96
Total	26436,14	114,13	21715,53	93,75

## 5.2.2. Cálculo de indicadores de confort

### 5.2.2.1. Calidad del aire [Level(s) 4.1.1]

Se evalúa la humedad relativa con relación a la determinación de la calidad del aire en el interior de la vivienda simulada. En la Figura 128 se muestra el porcentaje de tiempo durante un año en el cual la humedad relativa del aire interior se encuentra dentro de los rangos de las diferentes categorías establecidas en la Tabla 31.

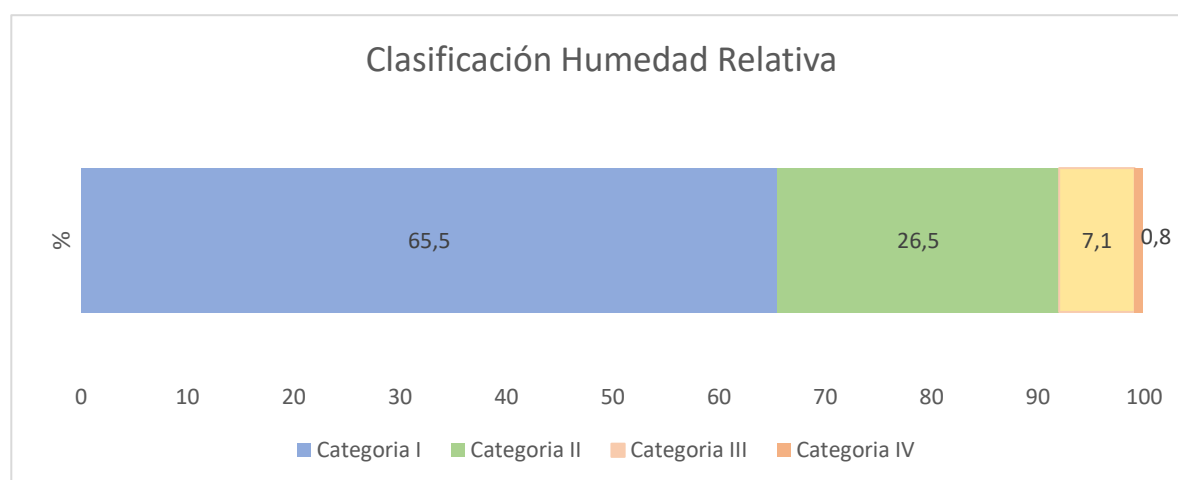


Figura 128. Resultados de la simulación de la humedad relativa interior. Fuente: propia.

El edificio se encuentra la mayoría del tiempo, exactamente un 65,5% del total anual dentro de la categoría I la cual se refiere a un estado ideal dentro de los valores de referencia, seguida de la categoría II con un 26,5 %. Por último, la categoría III y IV con valores relativamente menores, indica que casi no hay ningún estado de malestar o incomodidad a causa de la humedad relativa.

En conclusión, se puede decir que más de la mitad del año los habitantes conviven en una situación ideal en referencia a la calidad del aire.



### 5.2.2.2. Tiempo fuera del rango de confort [Level(s) 4.2]

Se han calculado los índices PPD y PMV para evaluar el rango de confort durante el periodo de un año.

Se muestran los resultados del índice PMV en la Figura 129 clasificados por categoría y por signo (p: positivo, n: negativo).

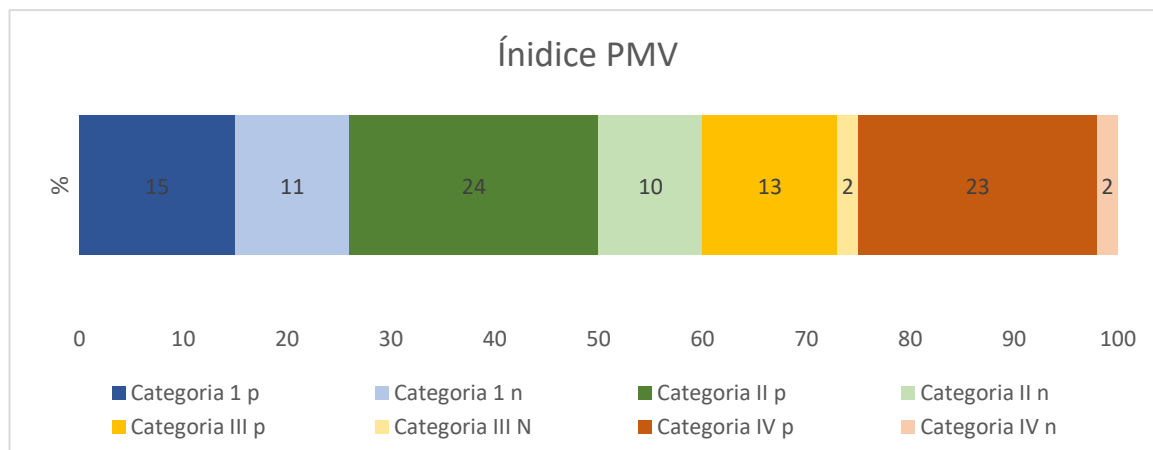


Figura 129. Resultados de la simulación de la clasificación del PMV en categorías de la zona P1\_E. Fuente: propia.

Se puede determinar que el confort de la vivienda cumple con un nivel de expectativa bastante alto, ya que un 26% del tiempo está dentro del rango de la categoría I y un 34% dentro del rango de la categoría II. Estas dos categorías son las que están diseñadas para definir un nivel de confort ideal o muy bueno, y en este caso suman un total de 60%. El otro 40% se divide entre las categorías III y IV, siendo un 15% y un 25% respectivamente.

Diferenciando entre los valores positivos y negativos que indican la sensación térmica por notar calor o frío, se puede decir que puede haber más incomodidad debido al calor ya que los porcentajes de los valores positivos son más altos.

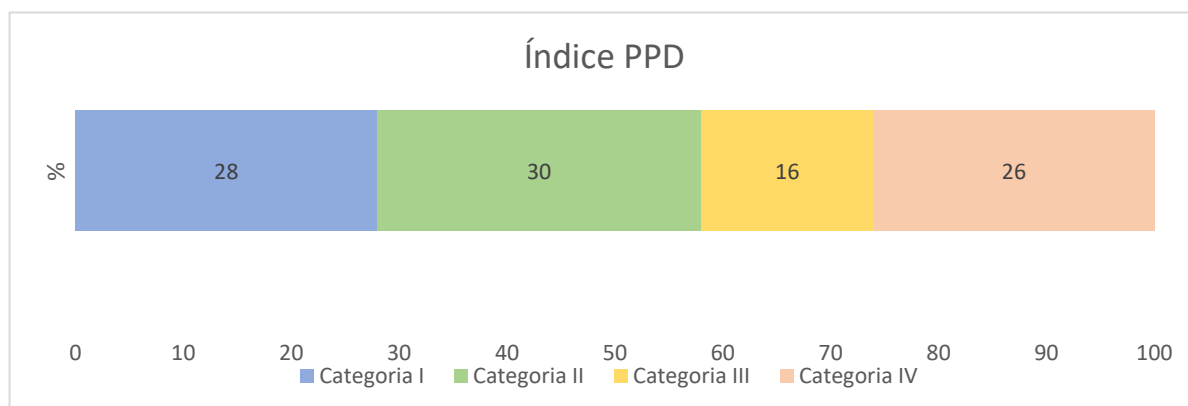


Figura 130. Resultados de la simulación de la clasificación del PPD en categorías de la zona P1\_E. Fuente: propia.

En cuanto al indicador PPD se puede determinar que más de la mitad del tiempo se encuentra dentro de las categorías I y II con un 28% y un 30% respectivamente. Por otro lado, la categoría IV que corresponde con 26% tiene un peso considerable con respecto a la categoría II con un 16%.

En este caso, no hay una gran variación entre los porcentajes de cada categoría. Aun así, se puede concluir que la sensación de comodidad de los habitantes se adecua perfectamente a las condiciones requeridas.

### 5.2.2.3. Modelo Adaptativo

Para el cálculo de este indicador, se ha utilizado la Figura 27 para clasificar y graficar las temperaturas operativas interiores en función de la temperatura media exterior. El resultado de los datos de la vivienda simulada se observa en la Figura 131/Figura 118:

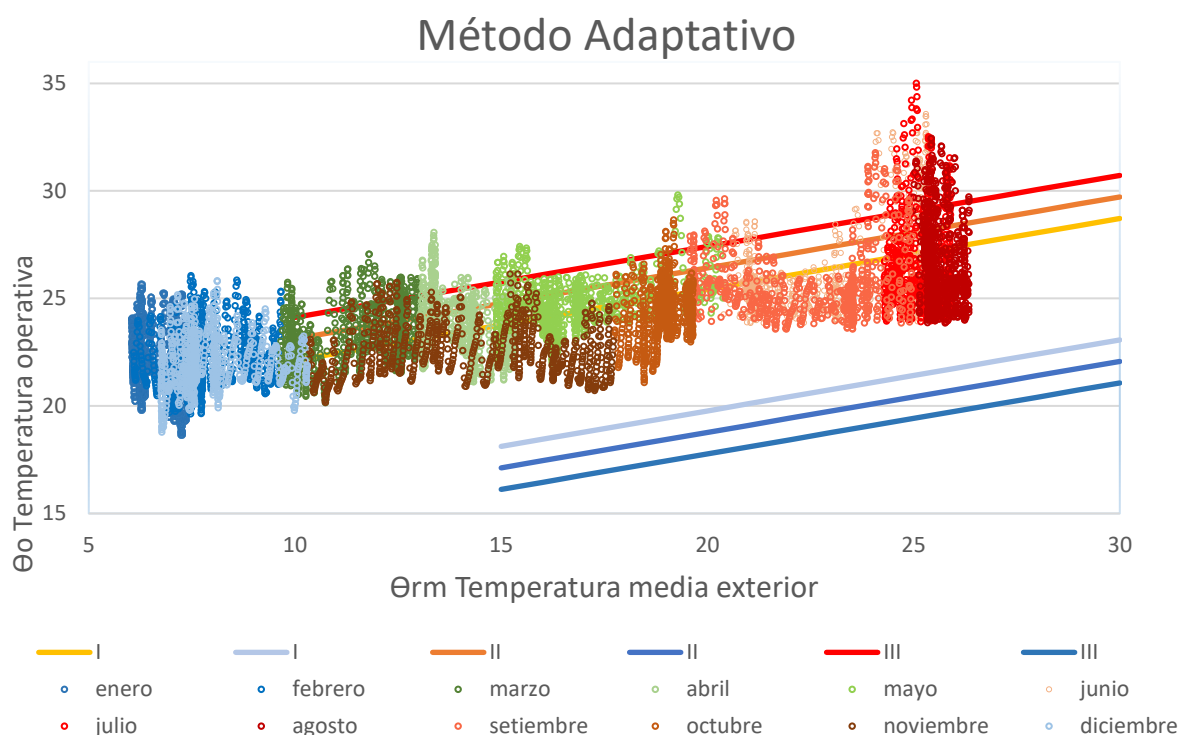


Figura 131. Resultados de la simulación de la evaluación de las temperaturas interiores con el método adaptativo. Fuente: propia.

Se han graficado las temperaturas por cada mes para así poder determinar en qué época del año se establecen las mejores o peores condiciones.

Como se puede observar la estación de invierno y en parte otoño, las temperaturas se distribuyen a lo largo de la parte izquierda del gráfico. En cambio, las de verano y parte de primavera a la parte derecha

y por el centro están las temperaturas más temperadas correspondientes a parte de otoño y primavera.

Es importante destacar que en la mayoría de los meses las temperaturas son más elevadas de lo que tendrían que ser, ya que se distribuyen a lo largo del límite superior establecido por el método adaptativo. Especialmente en verano, este límite se supera en algunos casos. Esto significa que, en esta zona, tanto en invierno como en verano las temperaturas son más altas de las de referencia. En estos casos sería conveniente modificar el control implementado para mejorar las condiciones del ambiente térmico, regulando el sistema de suelo radiante en invierno y el de los fancoils en verano.

En particular, en el sistema de suelo radiante se podría hacer una distribución de los caudales de agua teniendo en cuenta la demanda de cada una de las zonas, ya que en este caso se ha hecho la distribución teniendo en cuenta únicamente la superficie de cada zona. De este modo, el reparto de calor será más uniforme y adecuado con respecto a la necesidad de las zonas en cada momento.

Para el sistema de refrigeración, se podría proponer que los fancoils se encendieran por las noches los días de altas temperaturas evitando así una gran parte de momentos de discomfort causados por el calor. En base al control implementado en verano, es bastante complejo ya que interactúan tres sistemas diferentes: protecciones solares, ventilación natural y el sistema de fancoils. Con la información disponible se ha implementado un control simplificado. Además, estos sistemas tienen una gran influencia de los usuarios, que hace más difícil su reproducción exacta.

No obstante, haciendo una visión global se puede determinar que las condiciones térmicas interiores del edificio están reguladas en parte según lo indicado en la encuesta y que aparte de poder introducir algunas mejoras el resultado es satisfactorio.

#### **5.2.2.4. Diagrama de Givoni**

Se hace la representación en un diagrama psicrométrico de los parámetros durante el periodo de un año con los resultados de la temperatura interior de la zona P1\_E de la vivienda simulada y la temperatura exterior. Como se ha comentado anteriormente, este diagrama se divide en cinco zonas en función de la necesidad requerida. Los resultados se muestran en la Figura 132Figura 119.

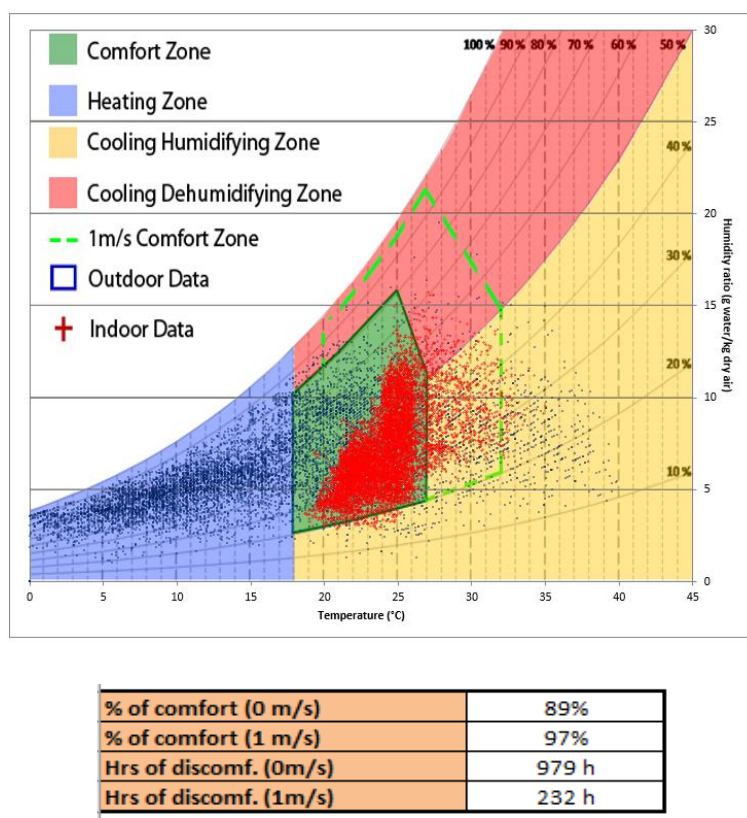


Figura 132. Resultados de la simulación de la evaluación de las temperaturas interiores y exterior con el diagrama de Givoni.  
Fuente: propia.

Las temperaturas exteriores corresponden a los puntos de color azul distribuidos a lo largo de todo el gráfico. La idea central es fijarse en los puntos rojos que corresponde a la distribución de las temperaturas interiores de la vivienda estudiada, y establecer en que zona se encuentran. La zona de confort en la que deberían agruparse es la zona de color verde y o zona delimitada por la línea tipo guion de color verde. Esta última corresponde a la zona de confort con una velocidad del viento de 1 m/s.

En cuanto a las temperaturas interiores, la mayor parte de las medidas concretamente un 89% se encuentra dentro de la zona de confort verde que sería la más restrictiva en cuanto a niveles de confort ya que se considera la utilización de la ventilación mecánica.

En el caso de la zona de confort delimitada por la línea verde, esta se considera si se utiliza ventilación natural, y en el caso de estudio se utiliza regularmente durante las noches en verano. El porcentaje total de confort en esta zona es de un 97%, con solo 232h de disconfort durante el año.

En definitiva, se puede calificar a la vivienda como un espacio donde se asegura el pleno confort de los habitantes.

### 5.2.3. Estudio del comportamiento del edificio y los sistemas

En este apartado se analizarán los resultados obtenidos de la simulación para poder evaluar cómo se comporta el edificio y cuáles son las condiciones térmicas en las que se encuentra en cada momento. Además, se hará el estudio del funcionamiento y el control de cada uno de los sistemas implementados en la simulación.

Primero, se evaluará el comportamiento del edificio en las condiciones extremas, es decir en una semana tipo de invierno y una semana tipo de verano, y cómo funciona el sistema de climatización en cada una de las situaciones.

Posteriormente, se detallará el funcionamiento y el control del sistema de ACS y seguidamente de la bomba de calor.

#### 5.2.3.1. Comportamiento del edificio en invierno

Se ha hecho el estudio durante la semana del 14/01/2017 al 21/01/2017.

- Evaluación de las temperaturas interiores

Las Figura 133 y Figura 134 muestran las condiciones térmicas interiores de la vivienda simulada:

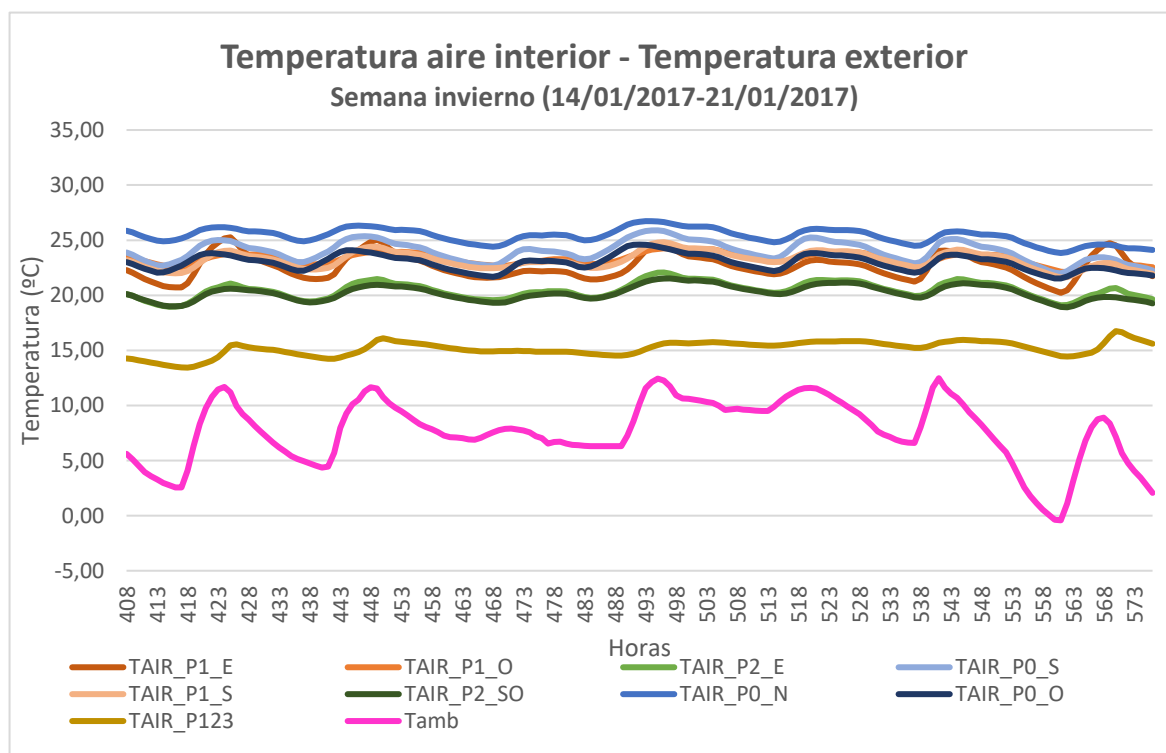


Figura 133. Gráfico de las temperaturas interiores de cada zona de la vivienda simulada y la temperatura ambiente exterior en una semana tipo de invierno. Fuente: propia.

Se muestran las temperaturas interiores de cada zona térmica de la vivienda simulada y la temperatura ambiente exterior de la localidad de Zaragoza durante una semana tipo de invierno donde la vivienda está ocupada.

Se puede observar que, aunque la temperatura exterior sea muy variante con picos y valles, las temperaturas interiores se mantienen muy constantes durante todo el periodo. Esto es debido al sistema de calefacción con suelo radiante y al control con el termostato que permite la regulación de las temperaturas dentro de los rangos de consigna diurna y nocturna. Es por eso, que la tendencia de estas temperaturas es de bajada durante la noche ya que la consigna es de 21 °C, y durante el día cuando el sistema de calefacción esta activado hay un pequeño incremento ya que la consigna es de 23 °C.

No obstante, la temperatura de la zona P123 que corresponde a la zona de las escaleras es inferior rondando los 15 °C ya que esta zona no consta con el sistema de calefacción.

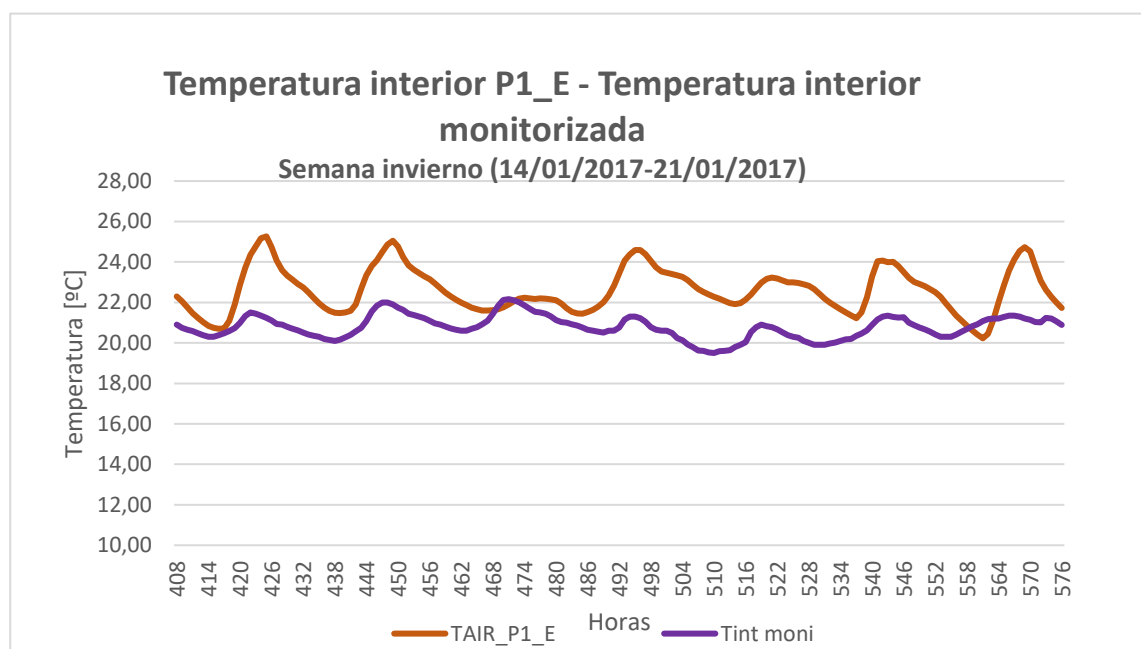


Figura 134. Gráfico de la temperatura interior de la zona controlada de la vivienda simulada y la temperatura interior monitorizada en una semana tipo de invierno. Fuente: propia.

En la Figura 134 se muestra la comparación de la temperatura interior monitorizada (*Tint moni*) y la temperatura interior de la zona controlada P1\_E (*TAIR\_P1\_E*).

Estas no son completamente iguales, pero siguen la misma tendencia de pequeñas bajadas durante las noches y subidas durante el día con relación a las temperaturas de consigna. La diferencia es que la temperatura monitorizada es un poco inferior y más estable que la de la simulación en la zona P1\_E.

La zona P1\_E tiene una amplitud térmica más pronunciada, probablemente a causa de la radiación solar. Esto puede ser debido a que el control implementado en la simulación no sea exactamente igual al que se ejecuta realmente ya que este depende de muchos factores externos como por ejemplo el factor humano. Además, las condiciones meteorológicas de la simulación no son exactamente las mismas que las monitorizadas.

Aun así, el control implementado en la simulación funciona correctamente para garantizar una regulación adecuada de las temperaturas en la vivienda.

- **Funcionamiento sistema de calefacción**

En las Figura 135 y Figura 136 se muestra el funcionamiento del sistema de calefacción simulado:

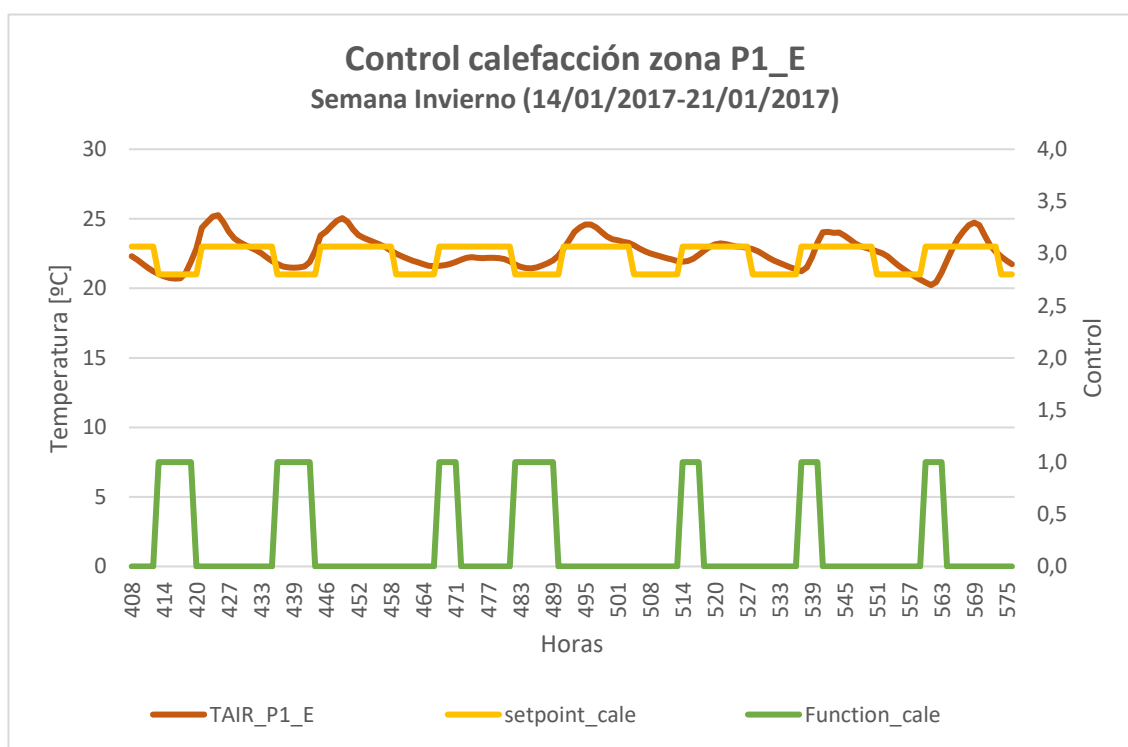


Figura 135. Gráfico del control del sistema de calefacción y la regulación de la temperatura interior de la zona controlada de la vivienda de la simulación en una semana tipo de invierno. Fuente: propia.

En la Figura 135 se muestra el control implementado del sistema de calefacción mediante suelo radiante (*setpoint\_cale* y *Function\_cale*) y la temperatura de la zona controlada (*TAIR\_P1\_E*).

La consigna *Function\_cale* toma el valor de 1 para encender el sistema de calefacción en función de si la temperatura de la zona está fuera del rango de *setpoint\_cale*, que corresponde con las temperaturas de consigna, nocturna 21 °C y diurna 23 °C.

En particular, si nos fijamos en las primeras horas desde la 413h hasta la 419h donde Function\_cale toma el valor 1, la temperatura de la zona está por debajo de la temperatura de consigna nocturna. Y así sucede en los otros casos, con excepción en los periodos comprendidos entre las horas 436h-442h y 482h-489h donde la temperatura de consigna es de 21 °C. En este caso es imprescindible tener en cuenta la temperatura de la zona muerta que es de 2 °C, es decir 1 °C por encima y por debajo. Así pues, durante estos periodos la temperatura de la zona está por encima de 21 °C pero es inferior a 22 °C y como consecuencia se enciende este sistema.

En conclusión, el control implementado funciona correctamente en función de la temperatura interior de la zona con el objetivo de mantener las condiciones térmicas adecuadas.

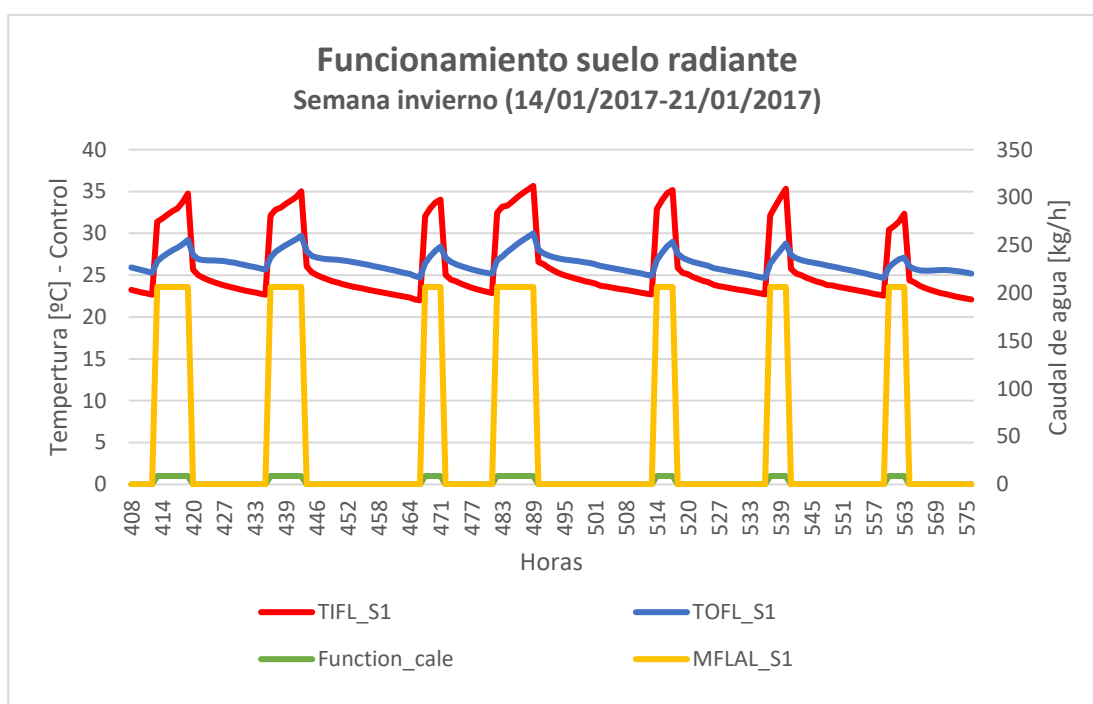


Figura 136. Gráfico del funcionamiento del suelo radiante de la vivienda de la simulación en una semana tipo de invierno.  
Fuente: propia.

En la Figura 136 se muestran los parámetros implicados en el funcionamiento y control del suelo radiante en la zona controlada P1\_E. Concretamente la temperatura de entrada (TIFL\_S1) del agua caliente proveniente de la bomba de calor y la de salida (TOFL\_S1) del agua fría que retorna a la bomba de calor. También se muestra el caudal de agua (MFLAL\_S1) que circula por la zona P1\_E y el control (Function\_cale) que determina cuando se activa el sistema de calefacción.

La idea central es que cuando el control se activa, circula un caudal constante por la zona de 206,4kg/h, y es durante estos periodos cuando la temperatura de entrada tiene valores superiores a 30 °C. Es importante comprobar que entre la temperatura de entrada y la de salida del agua del suelo radiante hay una diferencia de 5 °C, valor de referencia para el correcto funcionamiento de este sistema.



### 5.2.3.2. Comportamiento del edificio en verano

Se ha hecho el estudio durante la semana del 24/07/2017 al 30/07/2017.

- **Evaluación de las temperaturas interiores**

Las Figura 137 y Figura 138 muestran las condiciones térmicas interiores de la vivienda simulada:

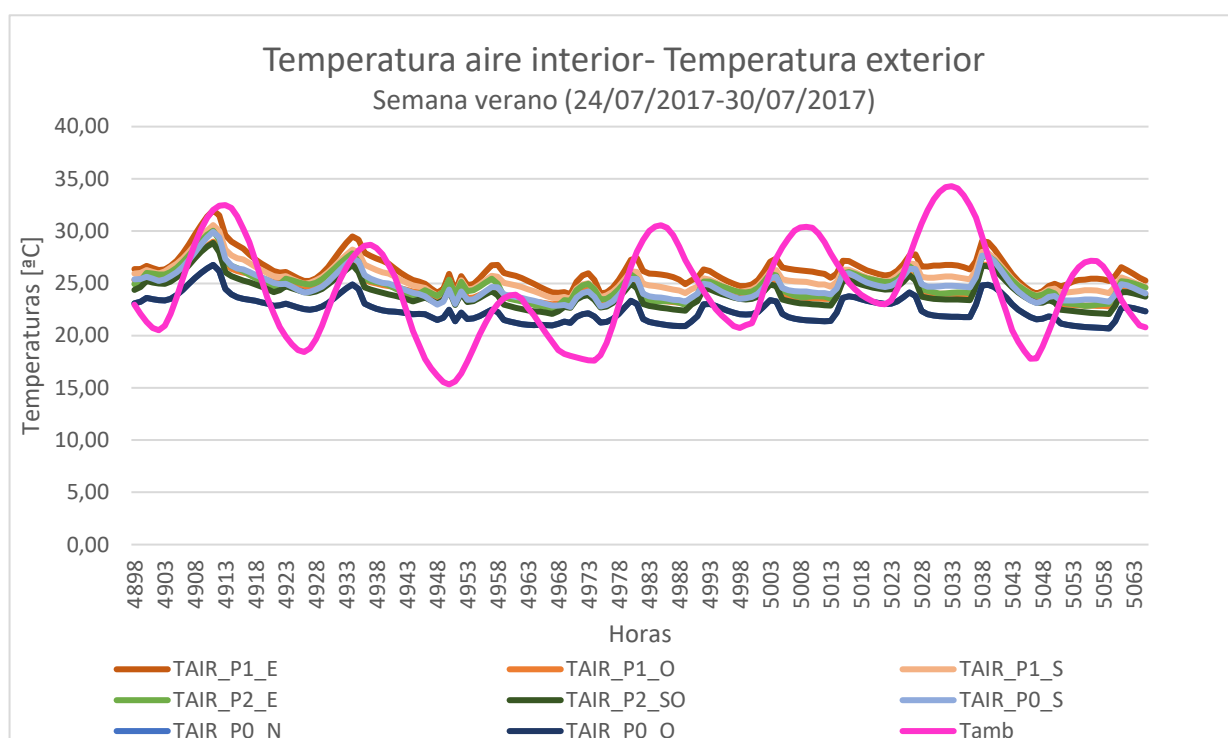


Figura 137. Gráfico de las temperaturas interiores de cada zona de la vivienda simulada y la temperatura ambiente exterior en una semana tipo de verano. Fuente: propia.

Se muestran las temperaturas interiores de cada zona térmica de la vivienda simulada y la temperatura ambiente exterior de la localidad de Zaragoza durante una semana tipo de verano donde la vivienda está ocupada.

Se puede observar que, aunque la temperatura exterior oscile mucho, las temperaturas interiores se mantienen muy constantes durante todo el periodo, igual que en la semana tipo de invierno. Esto es debido al sistema de refrigeración mediante fancoils y a la utilización de la ventilación natural. Las pequeñas variaciones de las temperaturas interiores dependen del control establecido con una temperatura de consigna diurna de 25 °C, en las horas valle y es durante la noche donde se utiliza la ventilación natural como sistema de refrigeración.

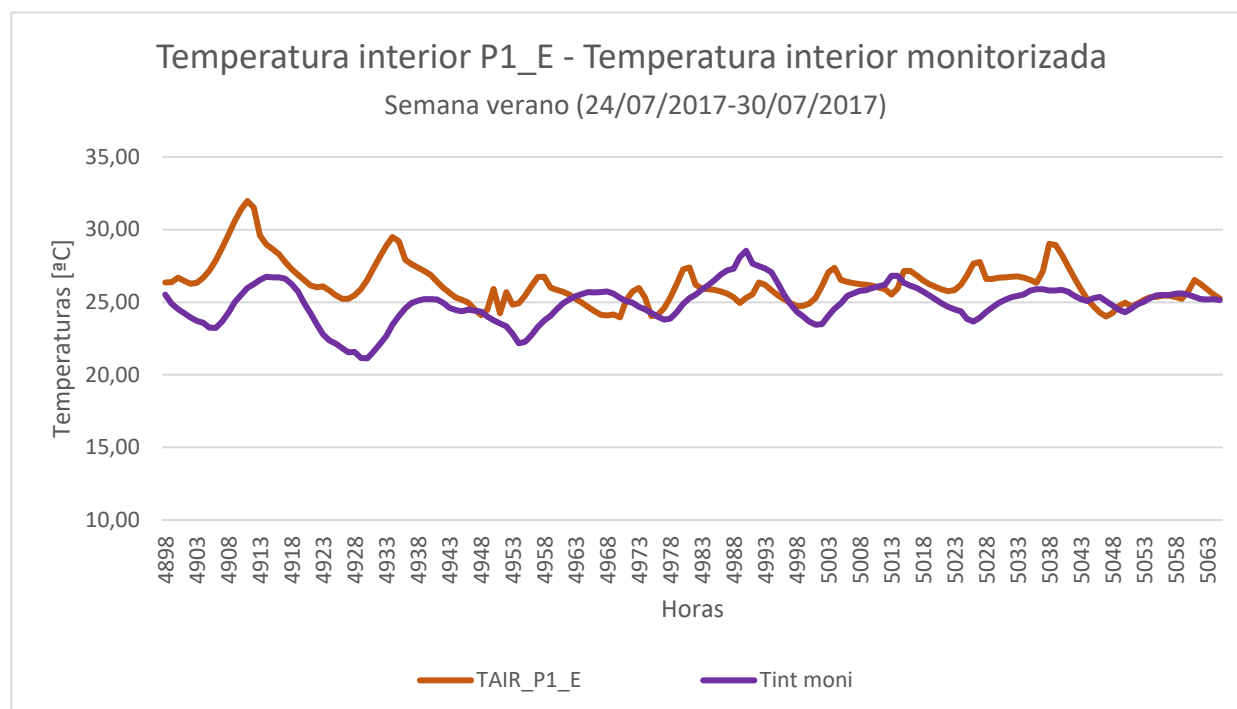


Figura 138. Gráfico de la temperatura interior de la zona controlada de la vivienda simulada y la temperatura interior monitorizada en una semana tipo de verano. Fuente: propia.

En la Figura 138 se muestra la comparación de la temperatura interior monitorizada (*Tint moni*) y la temperatura interior de la zona controlada P1\_E (*TAIR\_P1\_E*).

Estas son bastante parecidas ya que siguen la misma tendencia de pequeñas bajadas y subidas. Sin embargo, existen algunas variaciones debidas a que el control implementado no se corresponda exactamente con la realidad, igual que en los resultados mostrados para la semana tipo de invierno.

Aun así, el control implementado en la simulación funciona correctamente para garantizar una regulación adecuada de las temperaturas en la vivienda.

- **Funcionamiento sistema de refrigeración**

En las Figura 139 y Figura 140 se muestra el funcionamiento del sistema de refrigeración simulado:

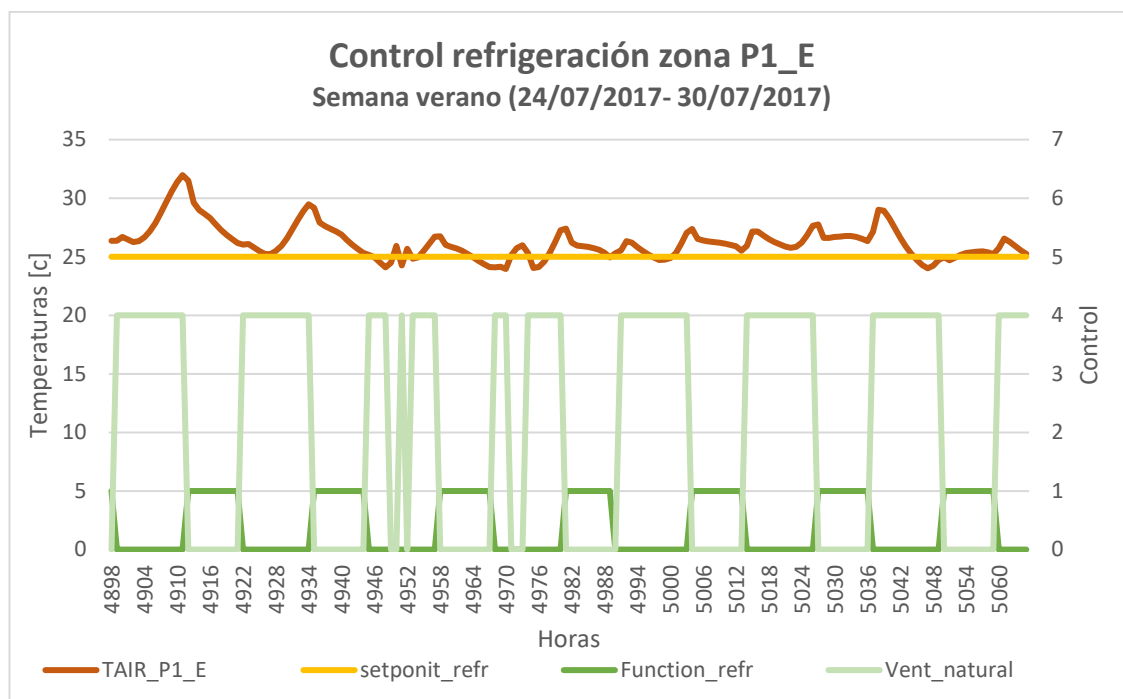


Figura 139. Gráfico del control del sistema de refrigeración y ventilación y la regulación de la temperatura interior de la zona controlada de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia.

En la Figura 135 se muestra el control implementado del sistema de refrigeración mediante fancoils y ventilación natural (*setpoint\_refr*, *Function\_refr* y *Vent\_natural*) y la temperatura de la zona controlada (*TAIR\_P1\_E*).

La consigna *Function\_refr* funciona en el rango diurno dentro de las horas valle. Toma el valor de 1 para encender el sistema de fancoils en función de si la temperatura de la zona está por encima del *setpoint\_refr*, que corresponde con la temperatura de consigna de 25 °C.

La consigna de *Vent\_natural* funciona durante el rango nocturno. Toma el valor de 1 para utilizar la ventilación natural en función de si la temperatura de la zona está por encima del *setpoint\_refr*, que corresponde con la temperatura de consigna de 25 °C.

Por lo tanto, siempre que la temperatura interior de la zona esté por encima de 25 °C se activará el sistema de fancoils durante el día y la ventilación natural durante la noche. En los casos donde la temperatura está por debajo de la de consigna y alguno de estos dos sistemas está activo es porque se tiene en cuenta 1 °C de la temperatura de la zona muerta.

En conclusión, el control implementado funciona correctamente en función de la temperatura interior de la zona con el objetivo de mantener las condiciones térmicas adecuadas.

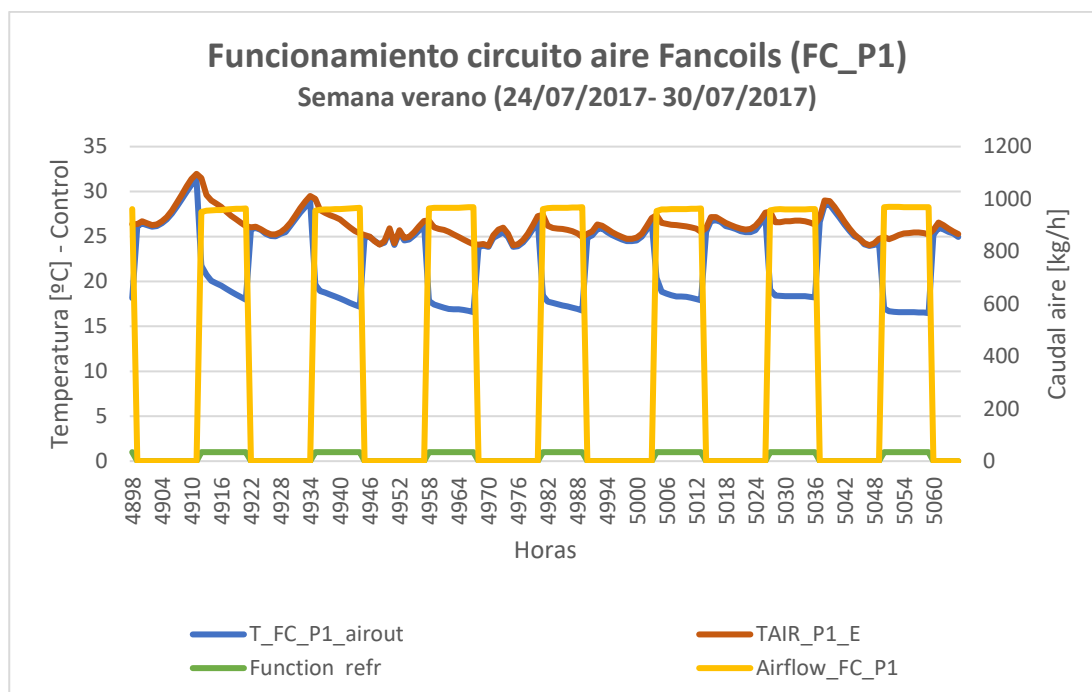


Figura 140. Gráfico del funcionamiento de los fancoils de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia.

En la Figura 140 se muestran los parámetros implicados en el funcionamiento del circuito de aire y control de los fancoils en la zona controlada P1\_E. Concretamente la temperatura del aire que proporcionan los fancoils ( $T_{FC\_P1\_airout}$ ), la temperatura de la zona controlada ( $TAIR\_P1\_E$ ) que corresponde en este caso al retorno de aire. También se muestra el caudal de aire ( $Airflow\_FC\_P1$ ) de la zona P1\_E y el control ( $Function\_refr$ ) que determina cuando se activa el sistema de refrigeración mediante fancoils.

El funcionamiento se basa en que cuando el control se activa, la bomba de calor le proporciona un caudal de agua fría al circuito de agua de los fancoils para así poder suministrar un caudal de aire frío a la vivienda. El caudal de aire suministrado es constante en cada zona. Se puede ver que cuando se entrega aire a la vivienda, la temperatura interior de la zona disminuye.

### 5.2.3.3. Comportamiento del sistema de ACS

Se va a evaluar el comportamiento del sistema de ACS a partir de dos gráficas, una que muestra el funcionamiento del tanque de ACS y otra que muestra la demanda de este. En la Figura 141 se muestra el funcionamiento del sistema de ACS y en la Figura 142 se muestra el gráfico de demanda de ACS. Se muestra únicamente el de una semana en los dos gráficos ya que el funcionamiento es muy parecido a lo largo del año, solo se observarían cambios en la temperatura del agua de red, ya que la demanda de ACS viene determinada por un perfil diario constante durante todo el año.

- **Funcionamiento sistema ACS**

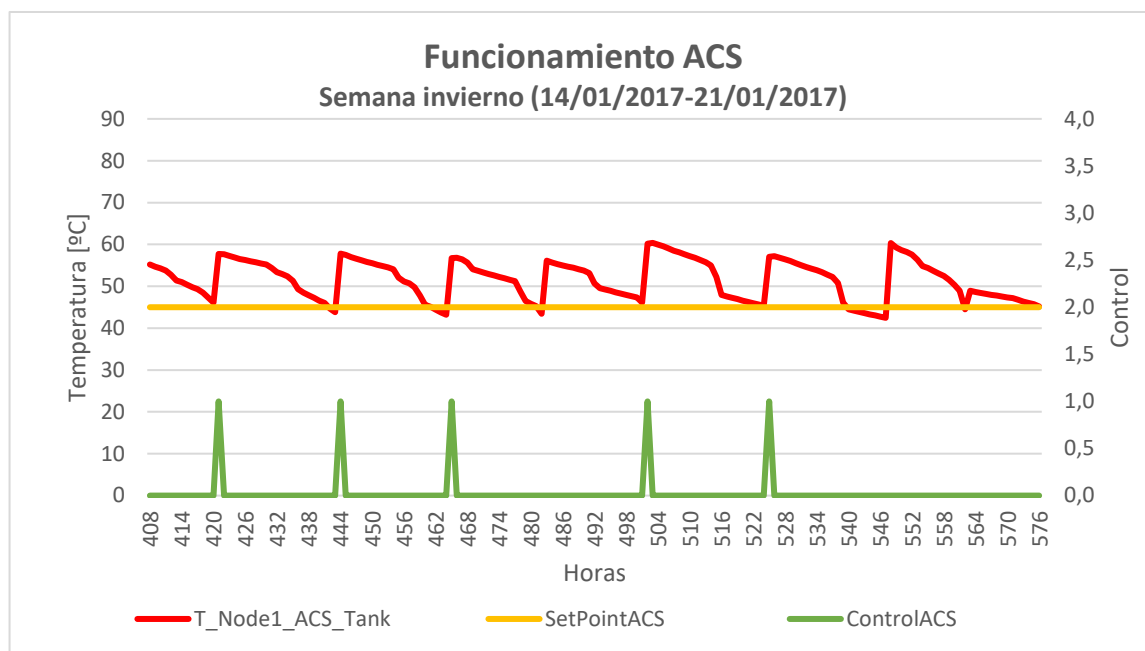


Figura 141. Gráfico del funcionamiento del sistema de ACS de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia.

Para entender correctamente el funcionamiento del sistema de ACS se grafica la temperatura del nodo 1 del tanque ( $T_{Node1\_ACS\_Tank}$ ), la temperatura de referencia del tanque ACS ( $SetpointACS$ ) y el control del sistema ACS ( $ControlACS$ ).

La temperatura de referencia del tanque ( $SetPointACS$ ) está fijada a 45°C y este valor se mantiene constante durante todo el año. La temperatura que debe mantenerse por encima de estos 45°C es la temperatura correspondiente al nodo 1 del tanque de ACS. Tal y como está explicado en el apartado 4.4.4.1.1 es donde se encuentra el agua caliente que se usará en la vivienda, así que se debe asegurar que esté por encima de la temperatura de referencia. Finalmente, el control de ACS indica cuándo la bomba de calor debe encenderse y suministrar agua caliente al tanque de ACS.

Observando la Figura 141 observamos que efectivamente el  $SetPointACS$  se mantiene a 45°C a lo largo del tiempo. Si nos fijamos en la temperatura del nodo 1 del tanque, observamos que el comportamiento es el siguiente: cuando la bomba se activa para suministrar el agua caliente al tanque aparece un pico considerable que llega hasta los 60°C aproximadamente, a medida que el tanque suministra agua a la vivienda este se va vaciando y enfriando, cuando la temperatura no cumple con la temperatura de referencia, el control de ACS interviene e indica a la bomba de calor que es necesario que vuelva a suministrar agua caliente al tanque, generando otra vez el pico de temperatura elevado y asegurando el suministro de agua caliente sanitaria a la vivienda.

- Demanda ACS

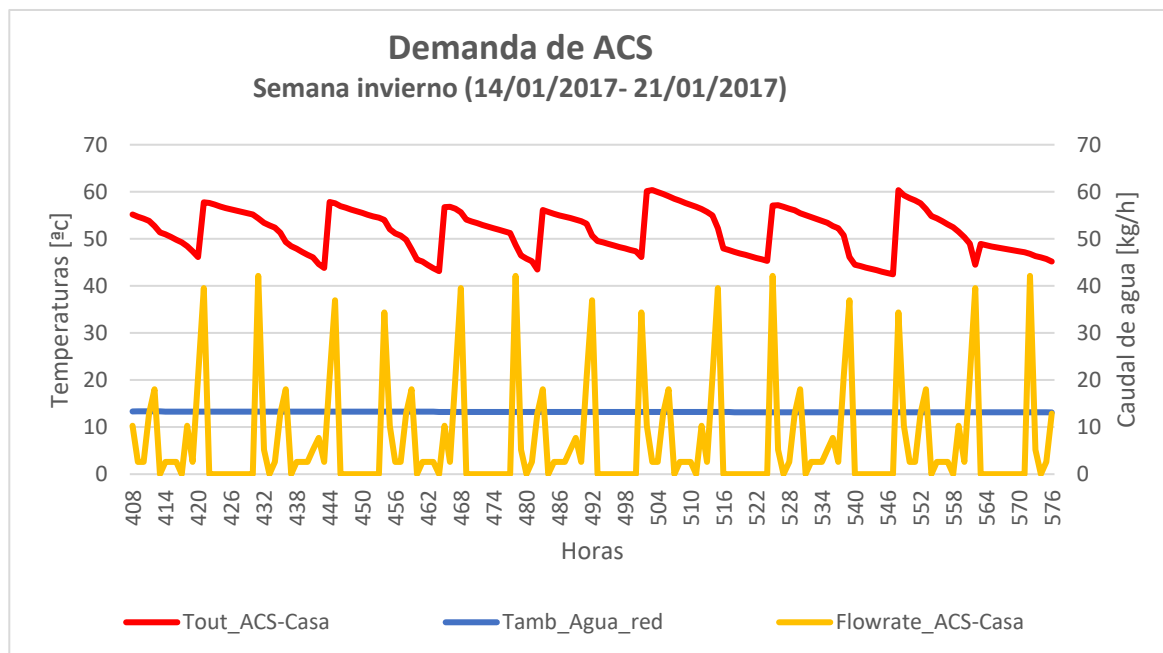


Figura 142. Gráfico de la demanda del sistema de ACS de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia.

Una vez mostrado el funcionamiento del tanque ACS, se muestra la demanda de este en la Figura 142. Se ha graficado la temperatura de salida del tanque hasta la vivienda (*Tout\_ACS-Casa*), la temperatura del agua de la red (*Tamb\_Agua\_red*) y el caudal de agua que se suministra a la vivienda (*Flowrate\_ACS-Casa*).

Tal y como se puede observar en el gráfico, la temperatura del agua que llega a la vivienda es idéntica a la temperatura del nodo 1 del tanque ACS (*T\_Node1\_ACS\_Tank*), mostrada en la Figura 141. Esto se debe a que el agua que llega a la casa sale desde el nodo 1 del tanque de ACS ya que es donde se encuentra el agua a la temperatura deseada.

Referente a la temperatura del agua de la red, es constante durante toda la semana de invierno escogida, con una temperatura de aproximadamente 12°C.

Finalmente, observamos que el caudal de agua de ACS que se suministra a la vivienda sigue un perfil determinado que se va repitiendo. Cuando la demanda de ACS es más alta, más rápidamente se vacía el tanque de ACS y entra en acción la bomba de calor creando el pico de temperatura elevada.

En conclusión, una vez analizados los gráficos de la Figura 141 y la Figura 142 se puede afirmar que el sistema de ACS funciona correctamente tanto a nivel de control como a nivel de temperaturas.

#### 5.2.3.4. Comportamiento del sistema de la bomba de calor

Finalmente, se procede a analizar el comportamiento del sistema de la bomba de calor. Para analizarlo de manera completa se va a estudiar el funcionamiento de la bomba de calor en una semana de invierno y una de verano y también se va a estudiar el funcionamiento del control integrado de la bomba de calor.

- **Funcionamiento de la bomba de calor**

A continuación, se muestran los gráficos realizados para el funcionamiento de la bomba de calor. La Figura 143 muestra el funcionamiento de la bomba de calor durante una semana de invierno y la Figura 144 muestra el funcionamiento de la bomba de calor durante una semana de verano.

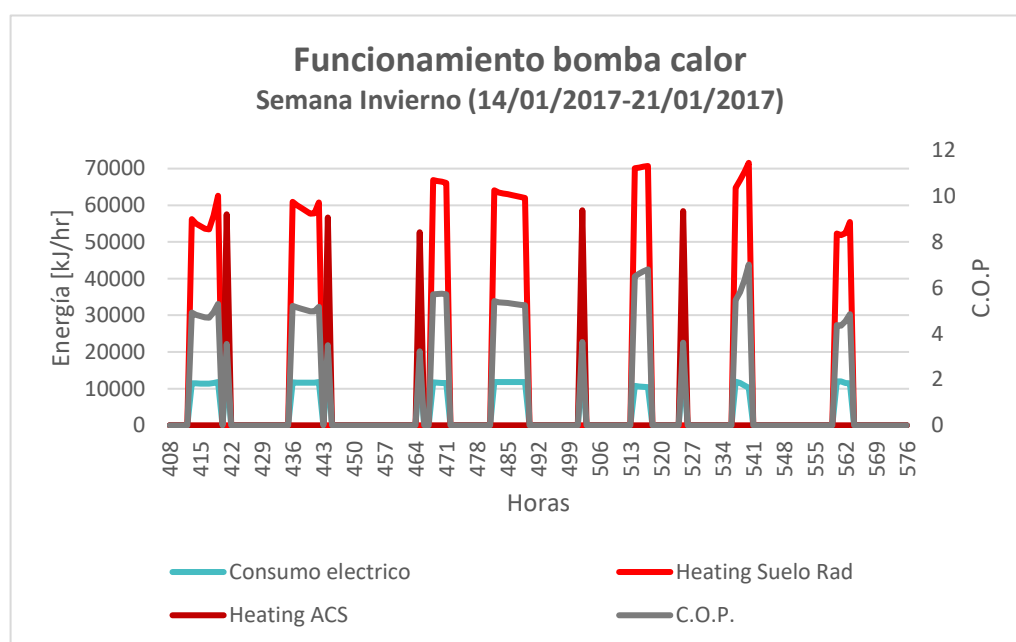


Figura 143. Gráfico del funcionamiento de la bomba de calor de la vivienda de la simulación en una semana tipo de invierno. Fuente: propia.

En la Figura 143 se observa el funcionamiento de la bomba de calor para la semana de invierno. Se ha graficado el consumo eléctrico de la bomba de calor (*Consumo Eléctrico*), la energía consumida cuando la bomba da calor para el sistema de calefacción (*Heating Suelo Rad*), cuando lo da para el sistema de ACS (*Heating ACS*) y el C.O.P (coeficiente de operatividad) de la bomba.

Durante la semana de invierno la bomba de calor solo va a suministrar calor a la vivienda ya que el sistema de refrigeración no entra en funcionamiento en ningún momento. La demanda de calor puede ir dirigida o bien al sistema de calefacción mediante el suelo radiante o bien hacia el sistema de ACS si

existe una demanda. Las variables *Heating ACS* y *Heating Suelo Rad* hacen referencia a la transferencia de calor de calefacción al líquido por la bomba de calor.

La bomba de calor tiene un consumo eléctrico siempre que entra en funcionamiento, con un valor bastante parecido que oscila en el valor de 10.000 (kJ/h).

Referente al C.O.P de la bomba de calor, el valor va oscilando entre el rango comprendido entre el 4 y el 7. Estos valores son elevados si se comparan con el valor nominal del C.O.P establecido en la bomba de calor (4,3) [39].

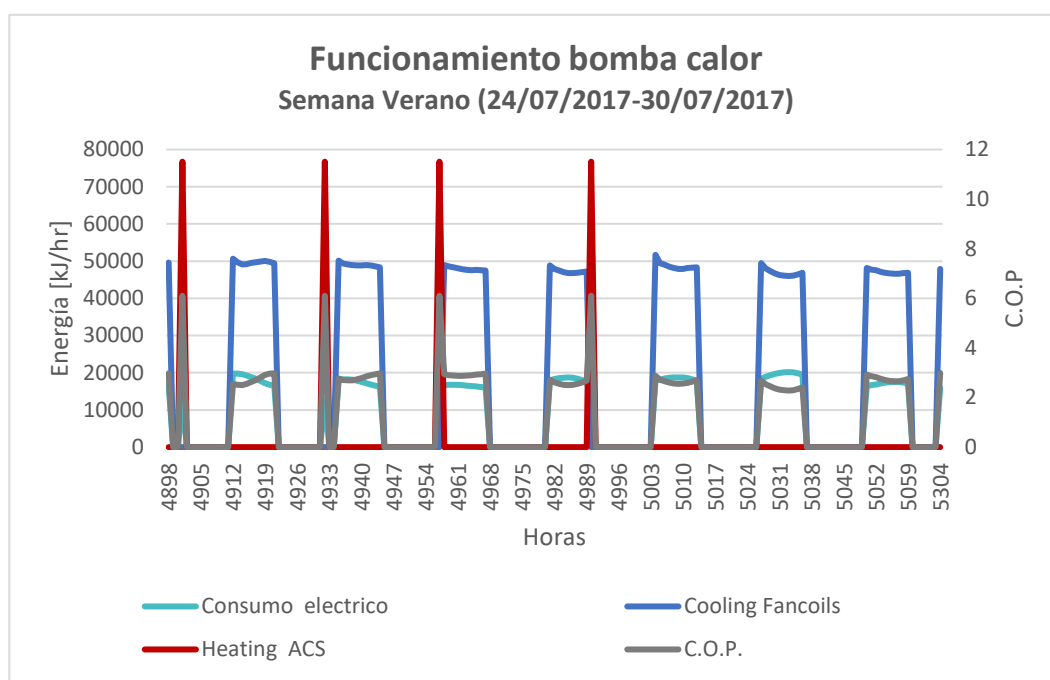


Figura 144. Gráfico del funcionamiento de la bomba de calor de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia.

Se observa el funcionamiento de la bomba de calor para la semana de verano en la Figura 144. Se han graficado las mismas variables que en la Figura 143 pero en vez de la variable *Heating Suelo Rad* se grafica la variable *Cooling*. Aun así, la bomba de calor también da calor cuando existe una demanda en el sistema de ACS, correspondiente a la variable *Heating ACS*.

El sistema de refrigeración nunca va a coincidir con el sistema de ACS, ya que se prioriza el segundo. Se observa que se necesita más energía para satisfacer la demanda de ACS (aproximadamente 80.000 kJ/hr) que para satisfacer la de refrigeración (aproximadamente 50.000 kJ/hr).

Referente al consumo eléctrico de la bomba, se consume más durante el verano que durante el invierno. Si comparamos el valor del consumo eléctrico de la semana de invierno mostrado en la Figura



143 (un poco más de 10.000 kJ/hr), con el valor obtenido para la semana de verano mostrado en la Figura 144 (aproximadamente 20.000 kJ/hr) vemos que es el doble durante la semana de verano.

Finalmente, si observamos el C.O.P vemos que el valor obtenido para la semana de verano se parece más al valor nominal del C.O.P determinado en el catálogo de la bomba de calor [39], a diferencia del C.O.P obtenido en la simulación durante la semana de invierno. Siendo el obtenido en la simulación de la semana de verano de aproximadamente 3 y el del valor nominal 4,3.

- **Funcionamiento del control integrado de la bomba de calor**

Para lograr que la bomba de calor dé calor y frío cuando las demandas lo indiquen es necesario que la misma bomba de calor tenga integrado un control. A continuación, se muestran los gráficos con los valores para una semana de invierno, Figura 145 y para una semana de verano Figura 146.

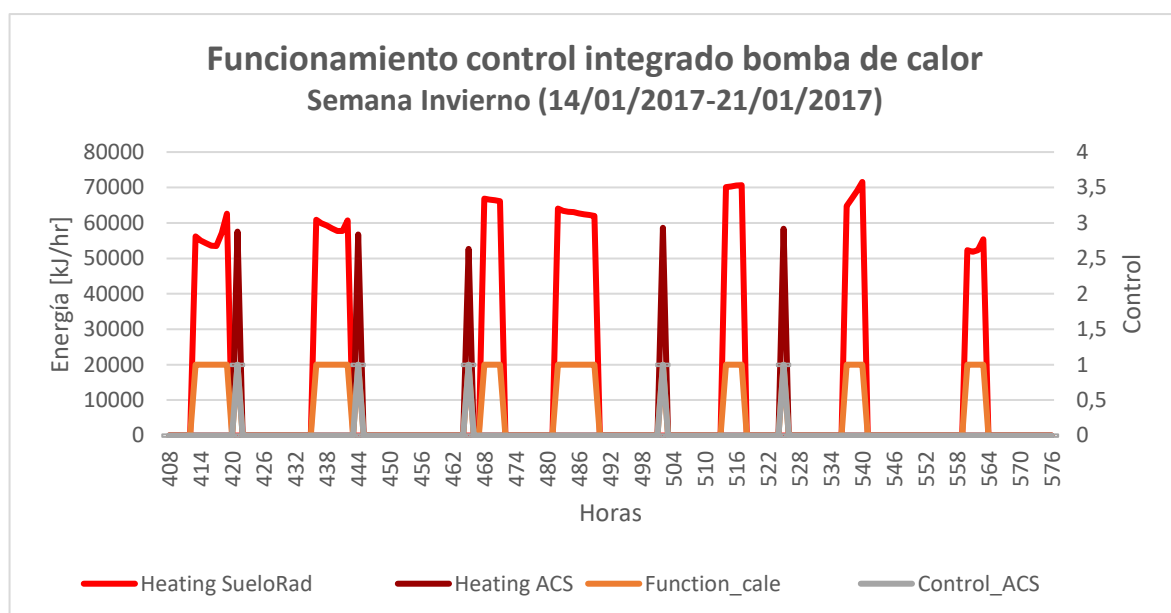


Figura 145. Gráfico del control de la bomba de calor de la vivienda de la simulación en una semana tipo de invierno. Fuente: propia.

Las variables que se han graficado para mostrar el control integrado en la bomba de calor son: la energía consumida cuando la bomba da calor para el sistema de calefacción (*Heating Suelo Rad*), la consumida para el sistema de ACS (*Heating ACS*), la señal de control *Function\_cale* explicada con más detalle en el apartado 4.4.5.1.1 y la correspondiente al control del sistema de ACS (*Control\_ACS*) explicada en el apartado 4.4.5.2

Es necesario que las señales de control del sistema de calefacción (*Function\_cale*) y del sistema de ACS (*Control\_ACS*) estén activas cuando haya una transferencia de calor hacia el fluido proveniente de la bomba de calor, ya que eso significa que el control integrado funciona correctamente. Observando la

Figura 145 vemos que esta condición se cumple y que por lo tanto el control integrado de la bomba de calor para la época de invierno funciona correctamente.

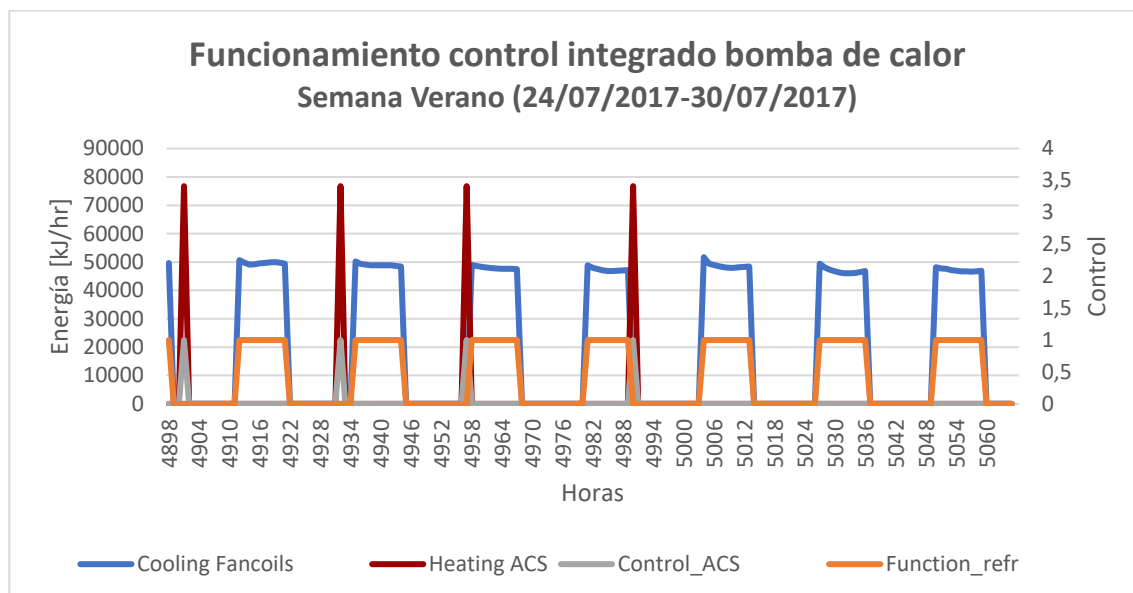


Figura 146. Gráfico del control de la bomba de calor de la vivienda de la simulación en una semana tipo de verano. Fuente: propia.

Durante la semana de verano ya no se dispone de la señal de control para el sistema de calefacción ya que no se usa, en cambio, es necesario introducir la señal de control correspondiente al sistema de refrigeración. Además, al introducir la señal de control para el sistema de refrigeración (*Function\_refr*) también es necesario introducir la energía transferida al fluido cuando la bomba de calor le da frío (*Cooling Fancoils*). Es decir, en el gráfico de la Figura 146 se representan las variables previamente mencionadas (*Function\_refr* y *Cooling Fancoils*) más las mismas variables que en el gráfico de la Figura 145 a excepción de la señal de control para el sistema de calefacción (*Function\_cale*) y la energía necesaria para transferir calor al fluido que se dirige al sistema de calefacción (*Heating Suelo Rad*).

Para la semana de verano se observa que la energía necesaria para cubrir la demanda de ACS es exactamente la misma que la mostrada en la Figura 145.

Referente al control de la climatización, observamos que la bomba de calor da frío cuando la señal de control para el sistema de refrigeración le hace llegar la señal y en cambio, la bomba de calor da calor cuando la señal de control para el sistema de ACS le hace llegar su señal.

En conclusión, observando los gráficos de la Figura 145 y la Figura 146 se determina que el control integrado de la bomba de calor funciona correctamente para cada uno de los sistemas implementados en la simulación ya se durante la época de invierno o durante la época de verano.

### 5.3. Comparación datos monitorizados con simulación

En este proyecto se ha hecho el estudio y análisis de distintos indicadores partiendo de datos monitorizados reales y de datos obtenidos mediante la simulación dinámica de la vivienda en cuestión. En los apartados anteriores 5.1 y 5.2 se han evaluado y comentado el resultado de los indicadores por separado, en este caso se van a comparar los resultados para así poder determinar si la simulación se ha llevado a cabo de la manera más realista posible y se asemeja lo máximo a las condiciones reales tanto a nivel de los indicadores de energía como de confort.

#### 5.3.1. Comparación de indicadores de energía

Particularmente para comparar los indicadores de energía, tiene sentido detallar los resultados anuales de la energía final, energía primaria y CO<sub>2</sub> de los datos obtenidos de las facturas con los resultados de la simulación añadiendo el consumo de los electrodomésticos e iluminación y teniendo en cuenta la ocupación de la vivienda. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 122:

*Tabla 122. Comparación de los indicadores de energía. Fuente: propia.*

Indicadores de energía	Datos monitorizados		Resultados simulación	
	Facturas			
Eficiencia energética	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Energía final	11634	50,22	11302,45	48,79
(C <sub>EP,total</sub> ) Energía primaria total	27956,50	120,69	27159,80	117,26
(C <sub>EP,nren</sub> ) Energía primaria no renovables	23349,43	100,80	22684,03	97,93
(C <sub>EP,ren</sub> ) Energía primaria renovable	4607,06	19,89	4475,77	19,32
Potencial del calentamiento global	kg CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	kg CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Emisiones de CO <sub>2</sub>	4153,34	17,93	4034,97	17,42

Tal y como se puede observar, el consumo anual de la vivienda partiendo de los datos de las facturas y de los resultados de la simulación es casi el mismo, rondando sobre los 11000 kWh. Y en consecuencia los valores de energía primaria y de las emisiones de CO<sub>2</sub> también toman valores semejantes.

Si se hace la comparación de forma mensual, la distribución de los consumos es un poco dispar. Con referencia a los datos monitorizados el consumo es superior en invierno, en cambio con los resultados de la simulación el consume aumenta considerablemente en verano. El hecho de obtener un consumo

más bajo en invierno puede estar relacionado con los elevados rendimientos de la bomba de calor que se obtienen en la simulación (COP alrededor de 5, el cual es superior al nominal). Por otro lado, el hecho de consumir mucha más energía en verano puede estar asociado a las estrategias de refrigeración pasiva que se han implementado: protecciones solares y ventilación natural. Al no disponer de información detallada, se han aplicado estrategias simplificadas, las cuales probablemente tienen un gran margen de mejora.

Para concluir, se puede decir que la simulación se ha realizado de la manera más detallada posible teniendo en cuenta los factores influyentes más importantes y como resultado se han obtenido valores casi iguales del consumo eléctrico anual de la vivienda. Al mismo tiempo, comparando este consumo con la media anual española es sorprendentemente bajo, así pues, se puede determinar que tiene un alto nivel de eficiencia energética.

### **5.3.2. Comparación de indicadores de confort**

Para la evaluación del confort de la vivienda se han utilizado una serie de indicadores que cada uno de ellos sirve para analizar unos parámetros en concreto. Se van a comparar todos los indicadores de confort evaluados con los datos monitorizados y los resultados de la simulación.

#### **5.3.2.1. Calidad del aire [Level(s) 4.1.1]**

Se hace la comparación de la Figura 115 que corresponde a la clasificación de la humedad relativa a partir de datos monitorizados y la Figura 128 que corresponde a la clasificación con datos de la simulación.

En general se puede decir que los dos resultados son muy parecidos, la mayoría del tiempo con más de un 60%, se encuentra dentro de la categoría I, que determina un estado ideal del ambiente. Seguidamente la categoría II en los dos casos con más de un 20% y finalmente las categorías III y IV siendo muy inferiores casi negligibles.

Se puede concluir que la simulación se ha realizado lo más acorde a las condiciones reales de la vivienda y que por lo tanto la calidad del aire en los dos casos cumple con los requisitos establecidos.

#### **5.3.2.2. Tiempo fuera del rango de confort [Level(s) 4.2]**

En este indicador se han evaluado los índices PMV y PPD, seguidamente se procederá a hacer la comparación de estos entre los datos monitorizados y los resultados de la simulación.

Para la comparación del índice PMV se hace referencia a la Figura 116 que corresponde a los datos monitorizados y la Figura 129 con los resultados de la simulación.

En general, los resultados en los dos casos son muy parecidos. El mayor porcentaje corresponde con la categoría I y II, sumando un 78% en los datos monitorizados y un 60% en los datos simulados. En los dos casos los porcentajes de valores positivos son mayores que los negativos, lo que significa que hay más incomodidad en verano.

La principal diferencia es que en los datos monitorizados la categoría inferior es la IV con un 10% en cambio con los resultados de la simulación esta categoría tiene un peso más elevado con un 25% del tiempo. Es decir, la vivienda simulada está más tiempo durante el periodo de un año con estado de discomfort.

Seguidamente, para la comparación del índice PPD se hace referencia a la Figura 117 que corresponde a los datos monitorizado y la Figura 130 con los resultados de la simulación.

Al igual que el índice PMV, la mayor parte del tiempo en los dos casos corresponde a las categorías I y II con un 77% en los datos monitorizados y un 58% en los resultados de la simulación. Pero los datos monitorizados dan resultados un poco mejores en cuanto al porcentaje de insatisfechos ya que las categorías II y IV son minoría con un 11% cada una. Por lo contrario, en los datos simulados la categoría IV es más alta con un 26% del tiempo con niveles de discomfort.

En definitiva, los resultados obtenidos son muy semejantes y se puede concluir que la simulación de la vivienda ha dado resultados satisfactorios y en los dos casos se cumple un nivel alto de confort durante la mayoría del tiempo.

### **5.3.2.3. Modelo Adaptativo**

El modelo adaptativo pretende evaluar las temperaturas interiores de un edificio y así poder determinar posibles mejoras para una mayor adaptabilidad del cuerpo en el ambiente térmico.

En este caso se van a comparar las Figura 118 referente a los datos monitorizados y Figura 131 con los datos de la simulación.

En el caso de las temperaturas interiores de los datos monitorizados, estas están muy controladas. Gran parte se encuentran dentro de los límites superiores e inferiores, con pequeños desbarajustes en algunos casos por encima de los límites superiores y en muy pocos por debajo del límite inferior de la categoría I.

En cambio, en los resultados de la simulación todas las temperaturas en general son más elevadas tanto en invierno como en verano, centrándose en los límites superiores. Es decir, existe un problema mayor con relación al estado de insatisfacción debido al calor.

En cierto modo, en ambos casos se debería establecer un mayor control y regulación de las temperaturas interiores, sobre todo en las épocas de altas temperaturas. Pero para determinar la mejora más eficaz y eficiente se debería realizar un estudio más exhaustivo teniendo en cuenta otros factores externos como el consumo eléctrico y el ahorro económico.

#### **5.3.2.4. Diagrama de Givoni**

El objetivo del diagrama psicométrico es evaluar el confort de un recinto y las condiciones de bienestar e identificar las posibles mejoras en cada uno de los casos. En este apartado se van a comprar las Figura 119 correspondiente a los datos monitorizados y Figura 132 de los resultados de la simulación dinámica.

En conjunto se puede decir que en ambos casos se cumplen los niveles de confort establecidos para viviendas residenciales. Durante el periodo de un año un 97% del tiempo, las condiciones del ambiente interior están dentro de los parámetros definidos como confort. En las ocasiones donde se puede llegar a percibir disconfort son mayoritariamente por consecuencia de las altas temperaturas.

En conclusión, el estado de confort tanto en condiciones reales como las simuladas es ideal la mayor parte del tiempo.

## 6. Evaluación de criterios nZEB

### 6.1. Comparación con edificios de referencia

Uno de los objetivos de este proyecto es la evaluación de la vivienda en cuestión y la determinación de si se puede enmarcar dentro de las condiciones en las cuales se engloban los edificios nZEB.

Seguidamente se presenta una comparación entre los resultados obtenidos de la vivienda simulada con los edificios de referencia comentados en el apartado 3.1.5. Tal y como se ha comentado, estos edificios cumplen con unas condiciones marcadas por el lugar de ubicación, sin embargo, en España aún no se contempla una definición clara. Los edificios de referencia se muestran en la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5.

Los datos de los cuales se tiene información para su posible comparación son la energía primaria y final, las características de los sistemas utilizados y las características constructivas.

Con relación a la vivienda de estudio simulada, también se tiene la información de todos estos datos, no obstante, no es adecuada la comparación de todos ellos.

En concreto, de los valores de energía final y primaria de los edificios de referencia se desconoce el tipo de energía de procedencia y los cálculos y factores de conversión empleados en cada uno de ellos para pasar de energía final a primaria.

Por esta razón se hará la comparación del factor que determina el aislamiento térmico de un edificio, siendo así la transmitancia térmica de la envolvente. En la Tabla 123 se muestran los valores de la transmitancia térmica de las paredes y las ventadas en cada uno de los casos:

Tabla 123. Comparación de la transmitancia térmica entre la vivienda de estudio y los ejemplos nZEB. Fuente: propia.

Transmitancia térmica (U) [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]	Vivienda de estudio zona P1_E	Mosta House of Character	ECOsil	Single Family house in Vallda Heberg
Pared	0,36	1,57	0,18	0,11
Ventana	1,06	3	1	0,70

Dado que la transmitancia es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en una unidad de tiempo, como mayor sea su valor, peor se considera el aislamiento del edificio.

Por consiguiente, se observa que la vivienda en cuestión está en tercer lugar con relación al nivel de aislamiento, poco detrás de *Single Family house in Vallda Heberg* y *ECOsil*. En último lugar y con bastante diferencia está *la Mosta House of Character*.

En resumen, los primeros tres edificios se consideran que están bien aislados térmicamente, factor que ayuda disminuir el consumo eléctrico y la demanda térmica y en consecuencia permite un mayor ahorro económico.

## 6.2. Certificación energética

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al calcular la certificación energética de la vivienda de estudio. Concretamente en la Tabla 124 se observan los resultados obtenidos una vez aplicadas las ecuaciones:

Tabla 124. Tabla con los valores de los indicadores de energía para el ACS del edificio de referencia. Fuente: propia.

Indicadores energéticos de referencia para el ACS					
Localidad	Demanda ACS [kWh/m <sup>2</sup> ]	Coefficiente emisiones de CO <sub>2</sub>	Coefficiente energía primaria	Emisiones ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	Consumo E. Primaria ACS [kWh/m <sup>2</sup> ]
Zaragoza	17,60	0,32	1,57	6,69	27,63

Finalmente, los valores de indicadores energéticos totales para las emisiones y la energía primaria para el edificio objeto se observan en la Tabla 125:

Tabla 125. Tabla con los valores totales del indicador de emisiones y el de energía primaria total para el edificio de referencia. Fuente: propia.

Emisiones totales [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	Consumo E. Primaria total [kWh/m <sup>2</sup> ]
30,29	132,73

A continuación, se muestran los límites calculados a partir de la (Eq. 5):

Tabla 126. Tabla con los valores de los límites para las emisiones y para la energía primaria calculados. Fuente: propia.

Clase	Valores de C <sub>1</sub>	Límites Emisiones	Límites Energía Primaria
A	0,15	11,11	48,67
B	0,50	18,17	79,64
C	1	28,27	123,88
D	1,75	43,42	190,25



Una vez obtenidos los límites ya podemos asignar la categoría a la vivienda de estudio. Si comparamos el valor del indicador energético de emisiones de la vivienda estudiada con los valores de la Tabla 126 vemos que este es menor que 11,11, por lo tanto, pertenece a la clase A. Por lo que hace a la categoría energética para la energía primaria de la vivienda estudiada, observamos que el valor obtenido es un poco menor que 79,64, por lo tanto, se encuentra dentro de la clase B.

*Tabla 127. Tabla resumen con las clasificaciones energéticas por emisiones de CO<sub>2</sub> y por energía primaria. Fuente: propia.*

Clasificación energética emisiones CO <sub>2</sub>	Clasificación energética energía primaria
Clase A	Clase B

En conclusión, se puede determinar que la vivienda se encuentra en los rangos más altos y por lo tanto está clasificada como una vivienda energéticamente muy eficiente.

## 7. Impacto ambiental

### 7.1. Escenarios futuros [Level(s) 5.1.1]: año 2030 y año 2050

Debido a la creciente preocupación por el cambio climático se ha evaluado el impacto ambiental de la vivienda simulada en dos escenarios futuros. Los escenarios futuros escogidos son los correspondientes a los años 2030 y 2050. El indicador referente a los escenarios de futuro está explicado con más extensión en el apartado 4.3.3 de este mismo proyecto. El objetivo es comparar los resultados simulados anuales de los escenarios futuros con los actuales previamente mencionados, además de realizar también una comparación de todos los indicadores energéticos explicados. El escenario escogido es el IPCC A2.

Para poder obtener los datos deseados en los escenarios de futuro, es necesario modificar el fichero de datos meteorológicos implementado en la simulación, conocido como *Weather Data (Type 15)*.



Figura 147. Icono del Type 15, referente al fichero de datos meteorológicos. Fuente: Simulation Studio. Fuente: Simulation Studio.

La extensión del fichero que debe introducirse en el type 15 es la .tm2. Una vez obtenidos los ficheros .tm2 de los años 2030 y 2050 se procede a realizar la simulación con cada uno de ellos. Cabe especificar que para el cálculo de indicadores de los escenarios futuros no se ha aplicado la ocupación a la simulación del modelo de la vivienda, es decir, se considera que la casa está ocupada todos los días del año.

### 7.2. Escenario futuro para el año 2030

En primer lugar, se van a mostrar los resultados anuales obtenidos para el escenario futuro correspondiente al año 2030.

#### 7.2.1. Energía final

El valor total anual de la energía final para el año 2030 se muestra en la Tabla 128:

Tabla 128. Valor de la energía final de la vivienda para el año 2030. Fuente: propia.

Indicador de eficiencia energética año 2030		
Energía final	kWh	kWh/ m <sup>2</sup>
	9489,56	40,97

## 7.2.2. Energía primaria

Se calcula el indicador de energía primaria anual tal y como está comentado anteriormente en el apartado 4.3.1.1. En la Tabla 129 se muestran los valores correspondientes a este indicador:

Tabla 129. Valores de energía primaria de la vivienda para el año 2030. Fuente: propia

Indicador de eficiencia energética escenario año 2030		
Energía Primaria	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
(C <sub>EP,total</sub> ) Energía primaria total	22803,41	98,44
(C <sub>EP,nren</sub> ) Energía primaria no renovable	19045,44	82,22
(C <sub>EP,ren</sub> ) Energía primaria renovable	3757,86	16,22

## 7.2.3. Potencial calentamiento Global (GWP) [Level(s) 1.2]

Para determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> para el consumo final de energía anual, se sigue el procedimiento previamente explicado en el apartado 4.3.1.2 para calcularlo. En la Tabla 130 se muestra el resultado correspondiente a este indicador:

Tabla 130. Tabla con el valor de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda para el año 2030. Fuente: propia.

Indicador del potencial del calentamiento global para el año 2030		
Emisiones de CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ]	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
	3387,77	14,63

## 7.2.4. Demanda energética anual

A continuación, en la Figura 148 se muestran los resultados referentes a la demanda energética anual de la vivienda diferenciando por tipo de demanda:

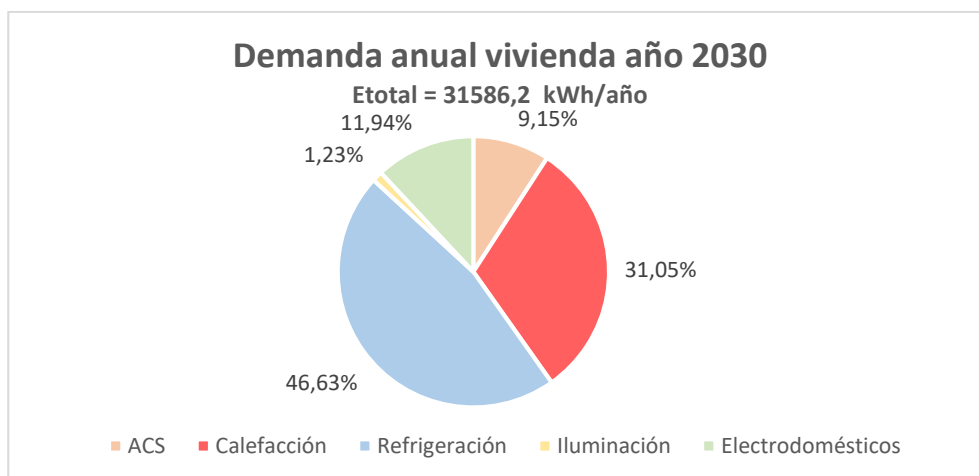


Figura 148. Gráfico con los resultados de la demanda anual de la vivienda para el año 2030. Fuente: propia.

## 7.3. Escenario futuro para el año 2050

En este apartado se muestran los resultados anuales obtenidos para el escenario futuro correspondiente al año 2050.

### 7.3.1. Energía final

El valor total anual de la energía final para el año 2050 se muestra en la Tabla 131:

Tabla 131. Tabla con el resultado de la energía final total anual para el año 2050. Fuente: propia.

Indicador de eficiencia energética año 2050		
Energía final	kWh	kWh/ m <sup>2</sup>
	9782,11	42,23

### 7.3.2. Energía primaria

En la Tabla 132 se muestran los valores correspondientes a este indicador:

Tabla 132. Valores de energía primaria de la vivienda para el año 2050. Fuente: propia.

Indicador de eficiencia energética escenario año 2050		
Energía Primaria	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
<b>(<math>C_{EP,total}</math>) Energía primaria total</b>	23506,41	101,48
<b>(<math>C_{EP,nren}</math>) Energía primaria no renovable</b>	19632,69	84,76
<b>(<math>C_{EP,ren}</math>) Energía primaria renovable</b>	3873,72	16,72

### 7.3.3. Potencial calentamiento Global (GWP) [Level(s) 1.2]

A continuación, en la Tabla 133 se muestran las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales para el año 2050:

Tabla 133. Tabla con el valor de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda para el año 2050. Fuente: propia.

Indicador del potencial del calentamiento global para el año 2050		
Emisiones de CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ]	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
	3492,21	15,08

### 7.3.4. Demanda energética anual

En la Figura 149 se muestran los valores de demanda energética anual para el año 2050, diferenciando por tipo de demanda:

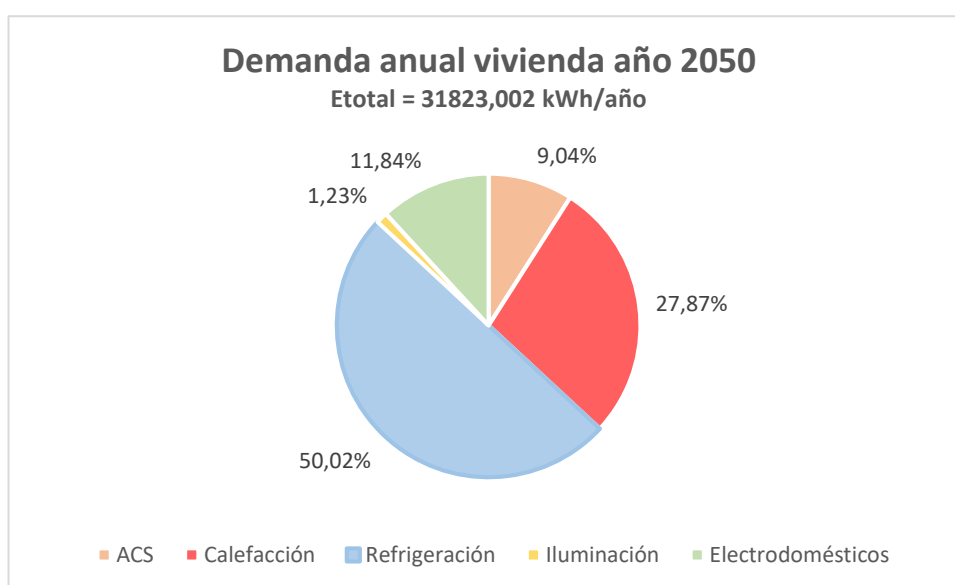


Figura 149. Gráfico con los resultados de la demanda anual de la vivienda para el año 2050. Fuente: propia.

## 7.4. Comparación de los escenarios de futuro con el actual

Una vez mostrados los resultados correspondientes a los escenarios de futuro, se procede a comparar estos con los obtenidos en la simulación para el año 2017. Primero, se va a realizar una comparación referente a la energía final, seguida por una comparación de los indicadores energéticos, y finalmente se va a concluir esta comparación con los resultados obtenidos referentes a la demanda energética de la vivienda. Cabe especificar que se han usado los valores sin tener en cuenta la ocupación para el año

2017, ya que para los escenarios futuros se ha realizado la simulación sin tener en cuenta la ocupación de la vivienda.

#### 7.4.1. Comparación de los resultados de energía final

A continuación, se muestra en la Tabla 134 una comparación de los valores de energía finales obtenidos para cada uno de los escenarios considerados:

Tabla 134. Tabla comparativa con los valores de energía final para los años 2017, 2030 y 2050. Fuente: propia.

Comparación energía final		2017		2030		2050	
Energía final	kWh	kWh/ m²	kWh	kWh/ m²	kWh	kWh/ m²	
	9007,10	38,89	9489,56	40,97	9782,11	42,23	

Esta tabla comparativa se ha realizado extrayendo los valores obtenidos de la Tabla 114, la Tabla 128 y la Tabla 131.

Tal y como se puede observar, el valor más elevado de energía final corresponde al año 2050. Se observa que la tendencia es ascendente a medida que pasan los años, aumentando así el valor de energía final consumida a medida que pasan los años. Eso significa que los sistemas implementados en el modelo de la vivienda se van a usar más a menudo en un futuro.

#### 7.4.2. Comparación resultados energía primaria

Para poder comparar los resultados obtenidos de energía primaria se ha realizado la Tabla 135 la cual se muestra a continuación:

Tabla 135. Tabla comparativa de los indicadores de energía primaria para los años 2017, 2030 y 2050. Fuente: propia.

Comparación energía primaria		2017		2030		2050	
Eficiencia energética		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
(C <sub>EP,total</sub> ) E. primaria total		21644,12	93,44	22803,41	98,44	23506,41	101,48
(C <sub>EP,nren</sub> ) E. primaria no renovables		18077,29	78,04	19045,44	82,22	19632,69	84,76
(C <sub>EP,ren</sub> ) E. primaria renovable		3566,82	15,39	3757,86	16,22	3873,72	16,72

Esta tabla comparativa se ha realizado extrayendo los valores obtenidos en la Tabla 116, la Tabla 129 y la Tabla 132.

Se observa que los valores de energía primaria correspondientes a los escenarios de futuro son más elevados que el correspondiente al año 2017. Esto se debe a que la energía final previamente mostrada en el apartado 7.4.1 es mayor para los escenarios futuros, así que en consecuencia hace que los valores referentes a la energía primaria también sean mayores.

#### 7.4.3. Comparación resultados de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Otro valor para tener en cuenta es el número de emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la vivienda. A continuación, en la Tabla 136 se muestran los valores para cada uno de los escenarios:

*Tabla 136. Tabla con los valores de emisiones de CO<sub>2</sub> para el año 2017, 2030 y 2050. Fuente: propia.*

Comparación emisiones de CO <sub>2</sub>		2017		2030		2050	
Emisiones de CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup>	kg CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup>	kg CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup>	
	3215,54	13,88	3387,77	14,63	3492,21	15,08	

Esta tabla comparativa se ha realizado extrayendo los valores obtenidos en la Tabla 118, la Tabla 130 y la Tabla 133.

La comparación de las emisiones de CO<sub>2</sub> entre los distintos escenarios da como resultado que las emisiones de CO<sub>2</sub> van en aumento con los años. Es decir, se van a generar más emisiones de CO<sub>2</sub> a medida que pasen los años.

#### 7.4.4. Comparación de los resultados referentes a la demanda energética

Finalmente falta por comparar los resultados de la demanda energética de los escenarios futuros con el del año 2017. Para comparar los resultados referentes a la demanda energética se han realizado dos tablas: la Tabla 137 muestra el valor total de demanda energética de cada sistema y su total, y la Tabla 138 muestra la fracción sobre el total de cada uno de los sistemas de la vivienda.

Tabla 137. Tabla comparativa con los valores de las demandas de cada tipo de sistema para el año 2017, 2030 y 2050. Fuente: propia.

Demanda	2017		2030		2050	
Tipo de sistema	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
<b>Sistema calefacción</b>	11031,11	47,62	9806,86	42,34	8870,03	38,29
<b>Sistema refrigeración</b>	12513,70	54,02	14728,01	63,58	15916,90	68,72
<b>ACS</b>	2891,31	12,48	2891,31	12,48	2876,04	12,42
<b>Total</b>	26436,14	114,13	31586,20	136,36	31823,00	137,39

Tabla 138. Tabla con las fracciones sobre el total de la demanda de cada sistema para el año 2017, 2030 y 2050. Fuente: propia.

Tipo de sistema	2017	2030	2050
<b>Sistema calefacción [%]</b>	35,63	31,05	27,87
<b>Sistema refrigeración [%]</b>	41,59	46,63	50,02
<b>ACS [%]</b>	9,34	9,15	9,04
<b>Total [%]</b>	100	100	100

Observamos que la demanda total anual aumenta en los escenarios futuros, ahora bien, si analizamos la demanda de cada sistema por separado, observamos que la demanda de calefacción se reduce en los escenarios futuros y, en cambio, la demanda de refrigeración aumenta. Si observamos la demanda de ACS, esta se mantiene constante en el tiempo.

Se puede explicar la reducción en la demanda de calefacción desde el punto de vista medioambiental ya que el constante aumento de la temperatura de la tierra debido al cambio climático va a causar veranos más calurosos e inviernos menos fríos. El aumento de la temperatura de la tierra tiene como consecuencia una mayor demanda de refrigeración y, a su vez, un aumento en el valor de energía final, primaria y también en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Se ve claramente en los porcentajes que la demanda del sistema de calefacción va perdiendo peso sobre el total, mientras que a su vez la demanda de refrigeración sufre un aumento muy considerable entre escenarios, llegando a ser un 50% de la demanda final en el 2050.



## 8. Conclusiones

La realización de este proyecto ha ayudado a profundizar más sobre el concepto de nZEB y conocer sus características, así como el estado de la ley actual sobre este tipo de edificios. Ampliar la base teórica sobre los edificios nZEB ha ayudado a una mejor comprensión sobre este concepto relativamente reciente. Además, también se ha investigado sobre los indicadores energéticos, ambiental y de confort térmico que se pueden calcular para los edificios con una alta eficiencia energética.

Se han obtenido los valores para estos indicadores usando los datos monitorizados de la vivienda, así como los valores obtenidos mediante la simulación. La simulación realizada se ha hecho a través del software TRNSYS 17, siendo el primer contacto muy satisfactorio y obteniendo resultados muy completos.

Tras la realización de la simulación de la vivienda mediante TRNSYS se ha podido analizar el comportamiento de los distintos sistemas implementados: bomba de calor combinado con un sistema de calefacción mediante suelo radiante, sistema de refrigeración mediante el uso de fancoils y el sistema de ACS. Gracias a esta simulación, y al posterior cálculo de los indicadores tanto a nivel energético como de confort ambiental se han extraído las conclusiones correspondientes.

Referente a los resultados energéticos, se han podido evaluar diferentes tipos de escenarios para poder acercarse más a las condiciones reales de la vivienda: teniendo en cuenta la ocupación anual y añadiendo el consumo de la iluminación y los electrodomésticos. A partir de estos resultados obtenidos mediante la simulación se han podido comparar con los datos reales monitorizados. En definitiva, los resultados obtenidos a nivel energético muestran una similitud considerable si se observan los valores totales anuales. El consumo de energía primaria total es de 79 kWh/m<sup>2</sup>, lo cual corresponde a un edificio unifamiliar con certificación energética de Clase B, y unas emisiones de CO<sub>2</sub> de 11 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, correspondiendo a una Clase A.

Sin embargo, analizando los resultados energéticos mediante la distribución mensual los resultados son más dispares, factor que puede ser debido al control implementado del sistema de refrigeración, donde interactúan tres sistemas diferentes: fancoils, ventilación natural y protecciones solares. La regulación realizada en la simulación se ha aproximado lo máximo posible a las condiciones reales, aun así, se ha hecho una simplificación ya que hay factores como la influencia de los usuarios que son difíciles de reproducir con exactitud.

Por otro lado, a nivel de confort los resultados son bastante satisfactorios. En general, se asegura un buen nivel de confort térmico tanto con los datos reales y de la simulación, existiendo periodos cortos de disconfort por calor especialmente en verano. No obstante, los resultados obtenidos con la simulación muestran un disconfort un poco más elevado. En ambos casos, los resultados de confort

son coherentes con las encuestas realizadas a los usuarios de la vivienda, lo cual corrobora su percepción ambiental de la vivienda. En definitiva, la balanza es muy positiva ya que se ha logrado acercarse al máximo a las condiciones reales.

Finalmente, se ha analizado el impacto ambiental de la vivienda tal y como está construida e implementada en los escenarios futuros correspondientes a los años 2030 y 2050. Los resultados obtenidos muestran que el impacto ambiental en los escenarios futuros es más elevado y que la temperatura exterior aumenta a medida que pasan los años, generando así una mayor demanda del sistema de refrigeración y una menor demanda del sistema de calefacción.

Se debe tener en cuenta que además de los sistemas implementados, el diseño constructivo del edificio juega un papel importante debido a su buen nivel de aislamiento que permite valorar esta vivienda dentro de los criterios nZEB.

En base a este proyecto existe la posibilidad de considerar ciertas mejoras, como la introducción de energías renovables o la mejora del control de los sistemas. Por ejemplo, la instalación de un sistema de colector térmico para la obtención de ACS o de paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda eléctrica serían buenas opciones tanto a nivel económico como ambiental.

En conclusión, todos los valores comparados obtenidos a partir de las simulaciones y de los datos monitorizados han compartido una similitud considerable asegurando así el éxito de este proyecto.

## 9. Presupuesto

Este proyecto se ha realizado de la mano de dos ingenieras junior con la supervisión de una investigadora senior en el sector la energía térmica y la edificación. El periodo de trabajo ha sido de un total de 4 meses y medio acumulando un total de 495 horas, trabajando 5 horas diarias en el centro de investigación IREC, además de 120 horas aproximadamente de trabajo autónomo.

Se debe tener en cuenta no solo el gasto personal, sino también el de las herramientas utilizadas y el coste eléctrico derivado. En este caso, se ha utilizado el software TRNSYS 17.

En la Tabla 139 Se muestra el desglose de costes:

*Tabla 139. Desglose de costes para la realización del proyecto. Fuente: propia.*

Coste personal				
Cargo	Horas laborales		Coste	Total
Ingeniera junior 1	615		30 €/h	18.450 €
Ingeniera junior 2	615		30 €/h	18.450 €
Investigadora senior	100		60 €/h	6.000 €
Coste software				
TRNSYS 17	2 licencias		4.500 €	9.000€
Coste consumo eléctrico				
Ordenador portátil	3 unidades	125 W[51]	0,12738 €/kWh[52]	63, 53 €
Coste total				
Suma de costes sin IVA				51.963,53 €
Aplicación IVA (21%)				10.912,34 €
Total				62.875,87 €

## 10. Bibliografía

- [1] D. C. Castro, “Estudio energético de una vivienda unifamiliar con alto grado de aislamiento térmico,” 2018.
- [2] “Congreso de edificios de Energía casi Nula.” [Online]. Available: <https://www.construible.es/comunicaciones/comunicacion-comprobando-funciona-fachada-estudio-comportamiento-fachada-vivienda-energia-casi-nula>. [Accessed: 09-Dec-2018].
- [3] “Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios,” 2010.
- [4] “Paris Agreement | Climate Action.” [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en). [Accessed: 14-Sep-2018].
- [5] J. Ortiz, “Introduction nZEB,” in *Thermal Energy and Building Performance group, IREC*.
- [6] Parlamento Europeo and Consejo de la Unión Europea, “Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios,” *Doce*, vol. 4-01-2003, no. L 1, pp. 65–71, 2003.
- [7] Comisión Europea, “Directiva (UE) 2018/844 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética,” *D. Of. la Unión Eur.*, vol. 156, pp. 75–91, 2018.
- [8] BPIE, “Nearly Zero Energy Building definitions across Europe,” 2015.
- [9] E. Germany GmbH Authors *et al.*, “Project coordinator Bogdan Atanasiu Study elaborated in cooperation with,” 2011.
- [10] CTE, “documento básico HE.Ahorro de energía,” 2017.
- [11] M. De Fomento, “Documento de bases para la actualización del Documento Básico DB-HE Índice,” pp. 1–13, 2016.
- [12] A. (BAXI) Jimenez, “Hacia una arquitectura sostenible,” in *REBUILD Congress*, 2018.
- [13] L. V. Catalán, “Estado actual de la normativa Objetivo final : Limitar las emisiones de CO 2eq al ambiente,” 2017.
- [14] K. Lijnen, “Net-ZEB,” Norwegian University of Science and Technology Faculty of Architecture, 2011.
- [15] “Panel distribution.” [Online]. Available: <http://www.zebra-monitoring.enerdata.eu/nzeb-activities/panel-distribution.html>. [Accessed: 25-Sep-2018].
- [16] H. Erhorn and H. Erhorn-Kluttig, “Selected examples of Nearly Zero-Energy Buildings Detailed Report,” no. September, p. 74, 2014.
- [17] “Zebra2020 - Nearly Zero-Energy Building Strategy 2020.” [Online]. Available: <http://zebra2020.eu/>. [Accessed: 01-Oct-2018].
- [18] “About AIDA | AIDA - Affirmative Integrated Energy Design Action.” [Online]. Available: [http://www.aidaproject.eu/about\\_aida.php](http://www.aidaproject.eu/about_aida.php). [Accessed: 01-Oct-2018].
- [19] “Promoting renovation of schools in a Mediterranean climate up to nearly Zero-energy buildings | ZEMedS.” [Online]. Available: <http://www.zemedS.eu/>. [Accessed: 01-Oct-2018].
- [20] “Republic ZEB.” [Online]. Available: <http://www.republiczeb.org/index.jsp>. [Accessed: 01-Oct-2018].
- [21] “Más allá de la definición EECN, parámetros intrínsecos en los edificios.” [Online]. Available: <https://www.construible.es/comunicaciones/mas-alla-la-definicion-eeen-parametros-intrinsecos-los-edificios>. [Accessed: 02-Oct-2018].
- [22] “Indicadores de economía circular para evaluar la transición.” [Online]. Available: <https://www.zicla.com/blog/indicadores-de-economia-circular-en-euskadi/>. [Accessed: 02-

- Oct-2018].
- [23] E. M. Foundation, "Hacia una economía circular: Motivos económicos para una transición acelerada."
- [24] C. Taylor, "Introducing Level(s): a common language for sustainable buildings | Build Up."
- [25] N. Dodd, M. Cordella, M. Traverso, and S. Donatello, *JRC Technical Reports: Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings*, no. August. 2017.
- [26] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), "UNE-EN 15603." 2008.
- [27] E. Element and H. E. Element, "ISO / TC 163 Date : 2015-04-09 ISO / WD 52000-1 , draft prEN 15603 : 2015 prepared by CEN / TC 371 / WG 1 Secretariat : NEN Energy performance of buildings — Overarching EPB assessment – Part 1 : General framework and procedures Contents," vol. 2015, pp. 1–152, 2015.
- [28] "Material flow accounts and resource productivity - Statistics Explained." [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Material\\_flow\\_accounts\\_and\\_resource\\_productivity#Consumption\\_by\\_material\\_category](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Material_flow_accounts_and_resource_productivity#Consumption_by_material_category). [Accessed: 17-Sep-2018].
- [29] A. Epiney, "Sustainable Use of Freshwater Resources," vol. 1, 2017.
- [30] C. Marcuello and C. Lallana, "EEA Indicator Fact Sheet (WQ01c) Water Exploitation Index," p. 6, 2003.
- [31] European Commission - DG Environment, "Water Performance of Buildings," no. August, p. 154, 2012.
- [32] World Health Organization, "World Health Organization Guidelines for indoor air quality: selected pollutants," 2010.
- [33] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), "UNE-EN 15251," 2008.
- [34] norma española, "UNE-EN ISO 7730," 2006.
- [35] Diario Oficial de las Comunidades Europeas, "Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental," *Minist. la Pres. España*, p. 25, 2002.
- [36] E. y T. Ministerio de Industria, "Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios (RITE)," 2013.
- [37] I. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy," *Ashrae Standard*. 2010.
- [38] BOE, "Real Decreto 235/2013." 2013.
- [39] T. Data, "Daikini Altherma," *Acta Psychiatrica Scandinavica*, vol. 24, no. S55. pp. 36–40, 1949.
- [40] T. Data, "Daikini Altherma," *Acta Psychiatrica Scandinavica*, vol. 24, no. S55. pp. 36–40, 1949.
- [41] I. ESPAÑA, "Catálogo Isoltubex." .
- [42] I. V. Silenzioso, "Carisma."
- [43] S. Energia, *Factura eléctrica*. .
- [44] N. Dodd, *Level ( s ) : el marco común de la UE de indicadores básicos de sostenibilidad para edificios residenciales y de oficinas*. 2017.
- [45] E. E. N. España, "FACTORES DE EMISIÓN DE CO2 y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA," 2016.
- [46] J. A. O. Ferrà, "Detailed energy and comfort simulation of integral refurbishment of existing buildings in catalonia," 2016.
- [47] "Certificado Energético." [Online]. Available: <https://ovacen.com/certificado-energetico/>. [Accessed: 07-Jan-2019].
- [48] I. S. Studio, "Curso de TRNSYS18 Índice," pp. 23–24, 2017.

- [49] Solar Energy Laboratory, "Trnsys 17," *Univ. Wisconsin-Madison*, vol. 5, pp. 1–29, 2012.
- [50] D. Altherma, B. Sobrepotenciada, D. Integrado, U. Exteriores, and S. Monofásicas, "Daikin Altherma," p. 75.
- [51] "¿Cuál es el consumo de un ordenador PC o portátil? - GalaxyAndroid." [Online]. Available: <https://www.galaxyandroid.es/cual-es-el-consumo-de-un-ordenador-pc-o-portatil/>. [Accessed: 07-Jan-2019].
- [52] "Consulta el precio de la luz hoy: Detalles y Evolución de la tarifa PVPC | Tarifaluzhora." [Online]. Available: <https://tarifaluzhora.es/>. [Accessed: 07-Jan-2019].

## **Anexos**

### **Anexo A**

#### **A1. Planos constructivos**





## **A2. Planos calefacción: suelo radiante**

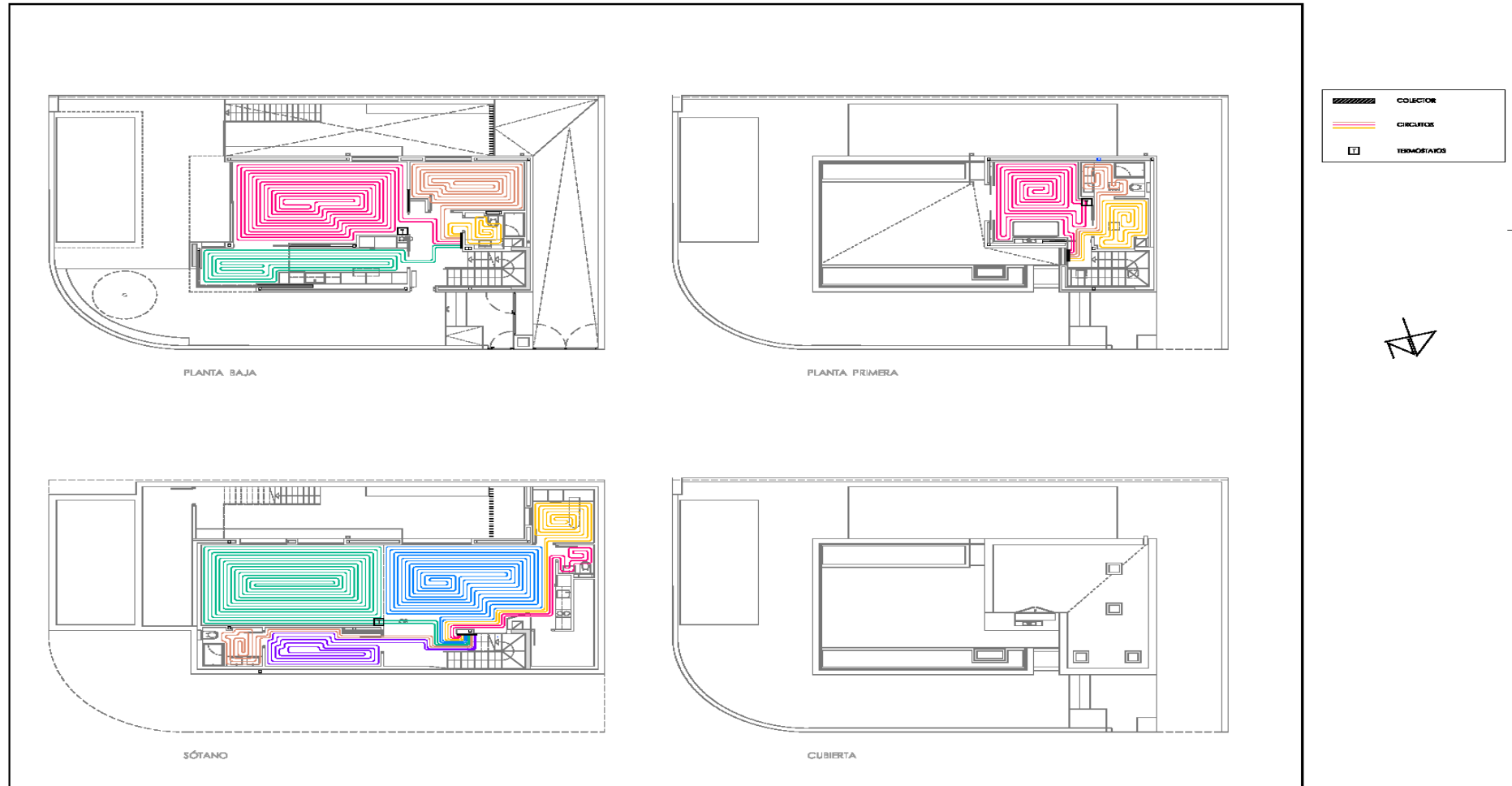


Figura 151. Planos del sistema de suelo radiante de la vivienda. Fuente: Ferrán Calzada y Alberto Mendo (Ingennus Urban Consulting), y Daniel Olano.

### **A3. Planos refrigeración: fancoils**

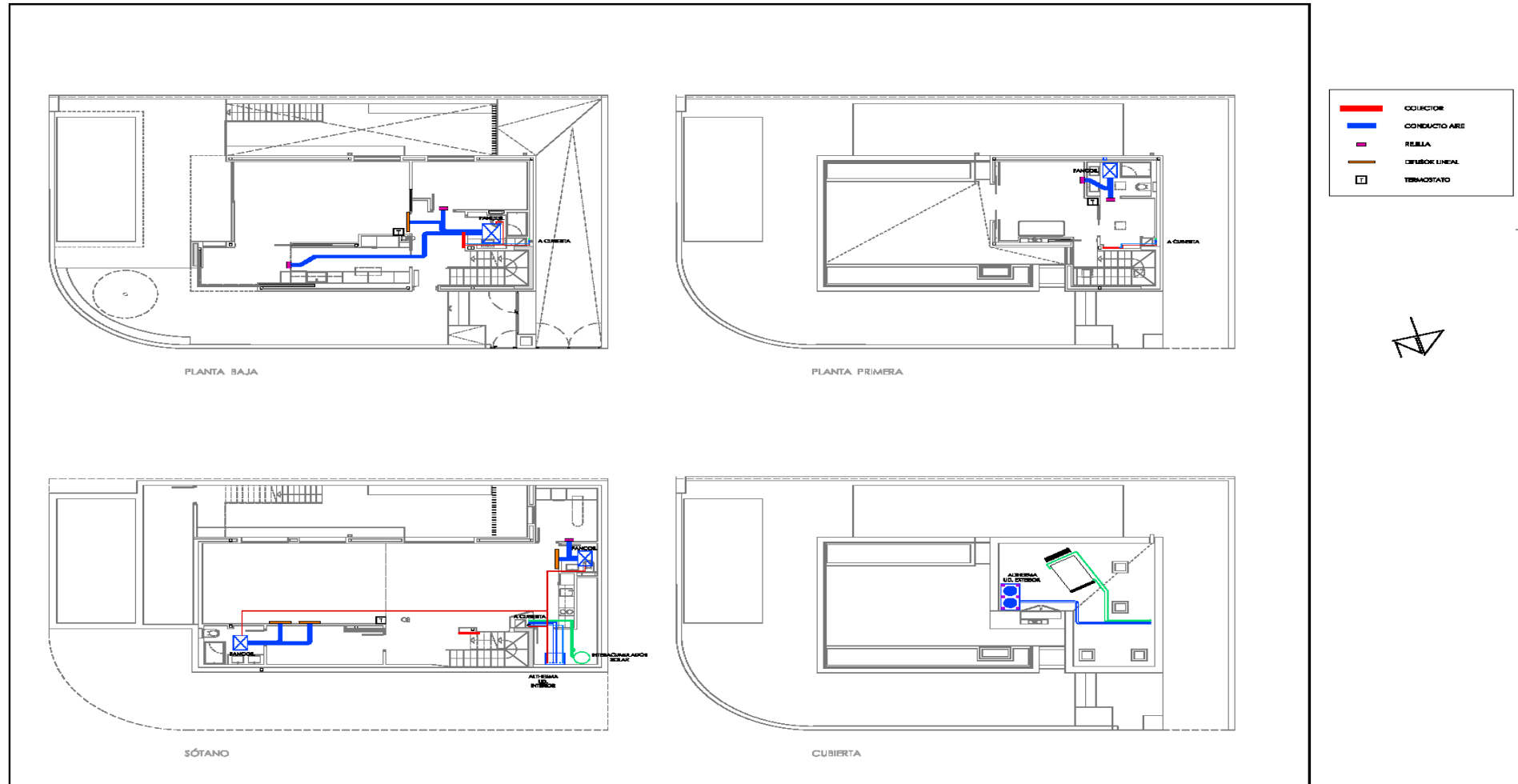


Figura 152. Planos del sistema de fancoils de la vivienda. Fuente: Ferrán Calzada y Alberto Mendo (Ingennus Urban Consulting), y Daniel Olano.

#### A4. Materiales y características de los suelos

RAD_GROUNDFLOOR					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad (kJ/hmK)	Capacidad (kJ/kgK)	Densidad (kg/m³)	Transmitancia térmica (W/m²K)
Gres baldosa porcelánico	0,008	8,28	1	2600	0,225
Mortero de agarre	0,06	5,04	1,1	2000	
Poliestireno extruido	0,04	0,122	1,5	25	
Hormigón armado	0,05	8,28	1	2300	
Poliestireno expandido	0,1	0,122	1,5	35	
Zahorras	0,1	10,08	1	2600	

RAD_TECHE_SÓTANO_SUELO_P1					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad (kJ/hmK)	Capacidad (kJ/kgK)	Densidad (kg/m³)	Transmitancia térmica (W/m²K)
Gres baldosa porcelánico	0,008	8,28	1	2600	0,553
Mortero de agarre	0,06	5,04	1,1	2000	
Capa activa					
Mortero de agarre	0,06	5,04	1,1	2000	
Poliestireno extruido	0,04	0,122	1,5	25	
Forjado	0,1	6,48	1	1410	
Enlucido de yeso	0,015	0,648	1	600	
Placa de yeso laminada	0,05	0,9	1	900	

RAD_TECHOP1_SUELOP2					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad (kJ/hmK)	Capacidad (kJ/kgK)	Densidad (kg/m³)	Transmitancia térmica (W/m²K)
Gres baldosa porcelánico	0,008	8,28	1	2600	0,579
Mortero de agarre	0,06	5,04	1,1	2000	
Capa activa					
Mortero de agarre	0,06	5,04	1,1	2000	
Poliestireno extruido	0,04	0,122	1,5	25	
Forjado	0,1	6,48	1	1410	
Placa de yeso laminada	0,05	0,9	1	900	

## Anexo B

### B1. Encuesta



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est



#### Encuesta: Análisis del confort ambiental

Fecha y hora:

Esta encuesta se divide en distintos apartados, el primero y segundo están relacionados con la información general de la vivienda y su perfil de uso, siendo únicamente necesario la respuesta de uno de los habitantes de la vivienda. Referente al tercer apartado, sería conveniente que todos los ocupantes respondieran individualmente a las preguntas propuestas relativas al confort.

#### 1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA VIVIENDA

-Tipo núcleo familiar:

☐

Con un núcleo:

☐

Pareja sin hijos.

☒

Pareja con hijos.

☐

Monoparental.

☐

Número hijos.

☐

Número hijos.

- Número total de personas:

-Número de personas por grupo de edad:

0-15 años.

16-64 años.

Más de 64 años.

-Número de personas por sexo:

Hombres.

Mujeres.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est



## 2. PERFIL DE USO

### 2.1. Ocupación de la vivienda

-Número de años de residencia en la vivienda:

-Ocupación diaria vivienda:

-Días laborables

<input type="text" value="1"/>	Número de personas mañana (aprox. 8h-13h).
<input type="text" value="0"/>	Número de personas mediodía (aprox. 13h-16h).
<input type="text" value="3"/>	Número de personas tarde (aprox. 16h-19h).
<input type="text" value="4"/>	Número de personas anochecer (aprox. 19h-22h).
<input type="text" value="4"/>	Número de personas noche (aprox. 22h-8h).

-Fines de semana

<input type="checkbox"/>	100% Sábados ocupados.	<input type="checkbox"/>	100% Domingos ocupados.
<input checked="" type="checkbox"/>	75% Sábados ocupados.	<input checked="" type="checkbox"/>	75% Domingos ocupados.
<input type="checkbox"/>	50% Sábados ocupados.	<input type="checkbox"/>	50% Domingos ocupados.
<input type="checkbox"/>	25% Sábados ocupados.	<input type="checkbox"/>	25% Domingos ocupados.
<input type="checkbox"/>	0% Sábados ocupados.	<input type="checkbox"/>	0% Domingos ocupados.

-Ocupación anual vivienda

<input type="text" value="1"/>	Número de semanas vivienda vacía en invierno.
<input type="text" value="1"/>	Número de semanas vivienda vacía en primavera.
<input type="text" value="3"/>	Número de semanas vivienda vacía en verano.
<input type="text" value="0"/>	Número de semanas vivienda vacía en otoño.





-**Tipo de actividad:** indique que tipo de actividad realiza en cada franja horaria que se encuentre en casa. (En caso de no estar en casa dejar la casilla en blanco).

	Mañana (8h-13h)	Mediodía (13h-16h)	Tarde (16h-19h)	Anochece (19h-22h)	Noche (22h-8h)
Reposo (dormir)					X
Actividad sedentaria (sentado, leyendo, TV, PC, etc.)			X	X	
Actividad ligera (de pie, tareas del hogar, cocinar etc.)	X		X	X	
Actividad física (practicar algún deporte, realizar ejercicios, etc.)					

## 2.2 Estrategias empleadas

### 2.2.1 Estrategias de calefacción

Indicar en el plano de la vivienda cuáles son las zonas climatizadas de su hogar (calefacción y/o refrigeración).

-Sótano:

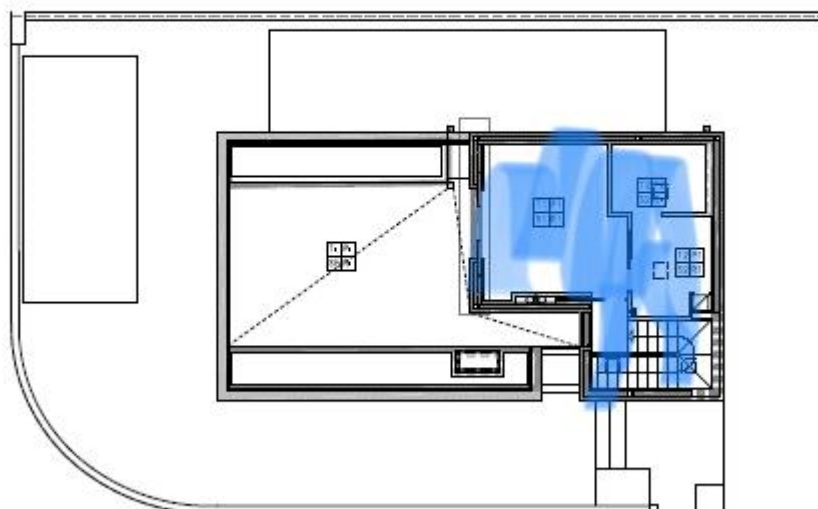




-Planta baja:



-Primera planta



**-Regulación de la calefacción:** Indique el tipo de elemento del cual dispone su hogar.

- ☐ Termostato ambiente para toda la vivienda.
- ☒ Más de un termostato ambiente.
- ☒ Termostato ambiente con programación.
- ☐ Válvulas termostáticas en los radiadores.

**-Horarios de operación:** Indicar qué estrategia(s) se siguen en el hogar.

- ☐ Cuando llega el otoño, ponemos el termostato a una temperatura y no lo modificamos hasta que llegue el buen tiempo.
- ☐ Ponemos la calefacción cada día cuando estamos en casa y la quitamos cuando vamos a dormir.
- ☐ Ponemos la calefacción cada día cuando estamos en casa y la dejamos encendida toda la noche.
- ☐ Solo utilizamos la calefacción cuando hace mucho frío.
- ☐ Vamos encendiendo y apagando la calefacción en función de si se tiene frío o calor.
- ☒ Otros: Programada para aprovechar tarifa valle

**-Consignas de regulación:** Si se dispone de un valor de consigna, marcar e indicar su valor en cada caso.

Valor:

<input type="checkbox"/>	Temperatura de consigna diurna.	23
<input type="checkbox"/>	Operación nocturna: totalmente apagada.	
<input type="checkbox"/>	Operación nocturna: con consigna, especificar temperatura.	21



## 2.2.2 Estrategias de refrigeración

**-Regulación de la refrigeración:** Indique el tipo de elemento del cual dispone su hogar.

- ☒ Termostato ambiente para toda la vivienda.
- ☐ Más de un termostato ambiente.
- ☒ Termostato ambiente con programación.
- ☐ No se dispone de sistema de refrigeración

**-Horarios de operación:** Indicar qué estrategia(s) se siguen en el hogar.

- ☐ Cuando llega el calor, ponemos el termostato a una temperatura y no lo modificamos hasta que llegue el mal tiempo.
- ☐ Ponemos la refrigeración cada día cuando estamos en casa y la quitamos cuando vamos a dormir.
- ☐ Ponemos la refrigeración cada día cuando estamos en casa y la dejamos encendida toda la noche.
- ☐ Solo utilizamos la refrigeración cuando hace mucho calor.
- ☐ Vamos encendiendo y apagando la refrigeración en función de si se tiene frío o calor.
- ☒ Usamos ventilación natural (abrir ventanas, etc..) para la refrigeración del hogar.
- ☒ Usamos protecciones solares para evitar sobrecalentamiento.
- ☒ Otros: Programada para aprovechar tanta vez

**-Consignas de regulación:** Si se dispone de un valor de consigna, marcar e indicar su valor en cada caso.

Valor:

<input checked="" type="checkbox"/>	Temperatura de consigna diurna.	25
<input checked="" type="checkbox"/>	Operación nocturna: totalmente apagada, sin consigna.	Si refresca
<input checked="" type="checkbox"/>	Operación nocturna: con consigna, especificar temperatura.	23



### 2.2.3 Estrategias de ventilación

-Ventila la vivienda?

<input checked="" type="checkbox"/>	SI
<input type="checkbox"/>	NO

En caso afirmativo:

-Motivos de la ventilación: Especificar el motivo de ventilación.

<input checked="" type="checkbox"/>	Invierno: para reducir el aire cargado.
<input checked="" type="checkbox"/>	Entretiempo: para reducir el aire cargado.
<input checked="" type="checkbox"/>	Entretiempo: para mejorar el confort térmico.
<input type="checkbox"/>	Verano: Para reducir el aire cargado.
<input type="checkbox"/>	Verano día: Para mejorar el confort térmico.
<input checked="" type="checkbox"/>	Verano noche: Para mejorar el confort térmico.

- Modo de ventilación en verano: Especificar qué técnicas emplea.

<input checked="" type="checkbox"/>	Abrir ventanas.
<input type="checkbox"/>	Ventiladores de techo.
<input type="checkbox"/>	Ventiladores portátiles.
<input checked="" type="checkbox"/>	Otros:

Ventilación forzada en baños y sótano



- **Modo de ventilación en invierno:** Especificar qué técnicas emplea.

<input checked="" type="checkbox"/>	Abrir ventanas.
<input type="checkbox"/>	Ventiladores de techo.
<input type="checkbox"/>	Ventiladores portátiles.
<input checked="" type="checkbox"/>	Otros: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ventilación forzada en baños y sótano</span>

- **Considera que hay ventilación natural suficiente si abre las ventanas en:**

<input checked="" type="checkbox"/>	Invierno
<input checked="" type="checkbox"/>	Primavera
<input checked="" type="checkbox"/>	Verano: durante el día
<input checked="" type="checkbox"/>	Verano: durante el anochecer/noche
<input checked="" type="checkbox"/>	Otoño

- **Horario de ventilación:** indicar el número de horas aproximadas que mantiene la ventilación (ya sea a través de las ventanas o bien usando aparatos portátiles como ventiladores).

-Invierno por la mañana.	2
-Invierno por la tarde.	0
-Invierno por la noche.	0
-Verano por la mañana.	2
-Verano por la tarde.	0
-Verano por la noche.	8



#### 2.2.4 Persianas y toldos

-Dispone de persianas y toldos:

<input checked="" type="checkbox"/>	SI
<input type="checkbox"/>	NO

-En caso afirmativo, desde cuándo:

Siempre

-Indicar en qué período del día se utilizan para protegerse del sol o del frío:

<input type="checkbox"/>	Invierno por la mañana.
<input type="checkbox"/>	Invierno por la tarde.
<input type="checkbox"/>	Invierno por la noche.
<input checked="" type="checkbox"/>	Verano por la mañana.
<input type="checkbox"/>	Verano por la tarde.
<input type="checkbox"/>	Verano por la noche.



### 3. CONFORT Y CALIDAD AMBIENTAL

En este apartado se quiere evaluar la satisfacción de los ocupantes con el entorno.

Por favor, conteste esta encuesta basándose la situación habitual/típica, y no en las condiciones del momento de realizarla. Por favor conteste tantas preguntas como pueda y escriba comentarios adicionales en los espacios proporcionados a tal efecto.

Al ser un apartado donde se responde de manera individual y subjetiva, indicar el género y edad:

<input checked="" type="checkbox"/>	Hombre	Edad:	40
<input type="checkbox"/>	Mujer		

#### 3.1 Confort térmico

-Confort térmico en verano: indicar qué sensaciones percibe y si procede añadir un comentario.

Sensaciones	Comentarios:
<input type="checkbox"/> Frio	
<input type="checkbox"/> Fresco	
<input type="checkbox"/> Ligeramente frío	
<input checked="" type="checkbox"/> Neutro	
<input checked="" type="checkbox"/> Ligeramente caluroso	
<input type="checkbox"/> Caluroso	
<input type="checkbox"/> Muy caluroso	





-Confort térmico en invierno: indicar qué sensaciones percibe y si procede añadir un comentario.

Sensaciones	Comentarios:
<input type="checkbox"/> Frío	
<input type="checkbox"/> Fresco	
<input type="checkbox"/> Ligeramente frío	
<input checked="" type="checkbox"/> Neutro	ideal en toda la casa
<input type="checkbox"/> Ligeramente caluroso	
<input type="checkbox"/> Caluroso	
<input type="checkbox"/> Muy caluroso	

### 3.2 Causas de disconfort

-Opciones que causan disconfort térmico en su vivienda: indicar qué disconfort percibe y si procede añadir un comentario.

Tipo disconfort: Ninguno	Comentarios:
<input type="checkbox"/> Paredes frías en invierno	
<input type="checkbox"/> Suelo frío en invierno	
<input type="checkbox"/> Paredes calientes en verano	
<input type="checkbox"/> Suelos calientes en verano	
<input type="checkbox"/> Corrientes de aire en ventanas o puertas	
<input type="checkbox"/> Diferencias de temperatura entre habitaciones	
<input type="checkbox"/> Exceso soleamiento en verano	
<input type="checkbox"/> Falta soleamiento en invierno	
<input type="checkbox"/> Desequilibrios de temperatura durante el día	



-Opciones que causan disconfort ambiental en su vivienda: indicar qué disconfort percibe y si procede añadir un comentario.

Tipo disconfort: <i>Ninguno</i>	Comentarios:
Olores de los vecinos (cocinas, humos, etc.)	
Olores/contaminación del exterior	
Aire muy húmedo	
Humedades en el baño	
Condensaciones habituales en ventanas	
Mucha humedad durante días de verano	
Mucha humedad durante noches de verano	

### 3.3 Confort ambiental

-Calidad del aire interior en verano: Indicar '7' para un nivel alto y '1' para un nivel bajo.

Movimiento aire en verano	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio
Humedad aire en verano	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio
Polución en el aire en verano	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio
Olor en el aire en verano	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio

-Calidad del aire interior en invierno: Indicar '7' para un nivel alto y '1' para un nivel bajo.

Movimiento aire en invierno	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio
Humedad aire en invierno	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio
Polución en el aire en invierno	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio
Olor en el aire en invierno	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio



**-Ruido:** Indicar '7' para muy satisfactorio y '1' para poco satisfactorio.

Ruido en general	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio
Ruido de los vecinos (conversaciones, aparatos)	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio
Ruido exterior (tránsito, ascensor, etc...)	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio

**-Iluminación natural:** Descripción general de la iluminación. Indicar '7' para muy satisfactorio y '1' para poco satisfactorio.

Iluminación en general	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio
Luz natural	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio
Reflejos del sol o del exterior	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio

**-Confort general:** Valoración general del confort de la vivienda. Indicar '7' para muy satisfactorio y '1' para poco satisfactorio.

Confort considerando todos los factores	Insatisfactorio	1	2	3	4	5	6	7	Satisfactorio
---	-----------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------

### Comentarios respecto al confort

A continuación, se reserva un espacio para añadir comentarios respecto al confort de la vivienda si se desea:

Comentarios	Un gran acierto para el confort y el ahorro el aislamiento con placa de roca y aerotermia por suelo radiante
-------------	--

Gracias por su colaboración.